

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-279889
 (43)Date of publication of application : 02.10.2003

(51)Int.CI. G02B 27/18
 G03B 21/00

(21)Application number : 2003-007205

(71)Applicant : EASTMAN KODAK CO

(22)Date of filing : 15.01.2003

(72)Inventor : KURTZ ANDREW F
 KRUSCHWITZ BRIAN E
 RAMANUJAN SUJATHA

(30)Priority

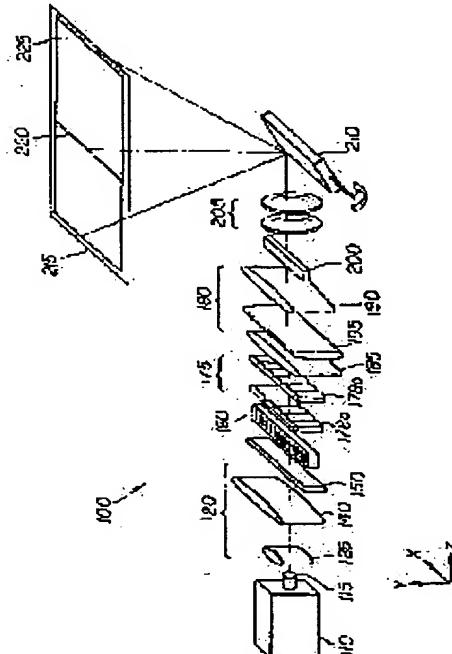
Priority number : 2002 050003 Priority date : 15.01.2002 Priority country : US

(54) LASER PROJECTION DISPLAY SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a laser display system by which speckles are reduced, coherence-induced artifacts in a spacial light modulator are removed and further while having a high throughput efficiency.

SOLUTION: A display apparatus includes a laser light source for emitting a light beam having a coherence length, a beam expander for expanding the light beam, the spacial light modulator and beam shaping optics for shaping the expanded laser beam to provide uniform illumination of the spacial light modulator. The beam shaping optics includes a fly's eye integrator having an array of plural lenslets, a diffuser located in the light beam between the laser light source and the beam shaping optics, an electrically controllable de-speckling modulator for modifying the temporal and spacial phase of the light beam and a projection lens for producing an image of the spacial light modulator on a distant screen.



BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(原文除く 19 頁)

(19) 日本国特許庁 (JP)	(12) 公開特許公報 (A)	(11) 特許請求の範囲
特開2003-279889 (P2003-279889A)	特開2003-7205 (参考) 平成15年10月2日 (2003.10.2)	[請求項1] a) コヒーレンス長を有する光ビームを放射するレーザ光源と、 b) 上記光ビームを拡大するビーム拡大器と、 c) 空間光変調器と、 d) 上記拡大されたレーザビームを整形して上記空間光変調器との間に配置するビーム整形光学装置とを備え、上記ビーム整形光学装置は、複数のレンズレットにてなるアレーを有するライズ・アイ・インテグレータを含み、 e) 上記光ビームににおいて上記レーザ光源と上記ビーム整形光学装置との間に配置されたディフューザと、 f) 上記光ビームの時間的及び空間的な位相を変化させる電気的に制御可能なスペクタル除去装置と、 g) 透過のスクリーン上に上記空間光変調器の画像を生成する投影レンズとを備えたディスプレイメ装置。
(21) 出願番号	P 1 G 02 B 27/18 G 03 B 21/00	[発明の詳細な説明]
(22) 出願日	平成15年1月15日 (2003.1.15)	[発明の属する技術分野] 本発明は、レーザを光源とした投影ディスプレイ装置に関するものである。1次元アレーヒータースキャナが用いられるビーム整形光学装置の利点は、必要な位置に存在しないことと、変調器アレーにおける不均一性に起因する構造のアーチファクトが存在しないことと、フレームのリフレッシュレートよりも非常に高い周波数 (>120 Hz) でのレーザ光源に対する耐性とにある。2次元空間光変調器の別の利点は、照射するビームの空間的コヒーレンスの低下による高い耐久性にある。一方、いくつかの他の異なる変調器技術で、高いアーチファクトの1次元バイスでは非常に問題されている。1次元又は2次元構成では非常に問題である。2次元構成では非常に問題である。これらのシステムは、表示スクリーン上に投影される画面の画像を形成するために、適当な光フィルタリングを備えた1つ以上の光バルブ又は空間光変調器に光を照射する白色光源の形式、最も有名なものはキセノンアーチランプの形式をとることが可能である。
(31)優先権主張番号	1 0 / 0 5 0 0 0 3	[0 0 0 1]
(32) 優先日	平成15年1月16日 (2002.1.16)	[発明の属する技術分野] 本発明は、レーザを光源として用いた投影ディスプレイ装置に関するものである。特に、本発明は、ディスプレイにおいてコヒーレンスによって説明されたアーチファクト及びスペクタルの発現を低減するための手段を有するレーザ投影ディスプレイ装置に関するものである。
(33) 優先権主張国	米国 (U.S.)	[0 0 0 2]
(71) 出願人	SG000846 イーストマン コダック カンパニー アメリカ合衆国、ニューヨーク州ロードエスター、キャサウェイ・ハーバー エスナー、アンドリュー・エフ・カーヴィング アメリカ合衆国14810ニューヨーク州ロードエスター、ロシター・ロード47番	[発明の技術及び発明が解決しようとする問題] ビデオ画像の表示のための投影ディスプレイシステムは、従来技術において公知である。これらのシステムは、表示スクリーン上に投影される画面の画像を形成するために、適当な光フィルタリングを備えた1つ以上の光バルブ又は空間光変調器に光を照射する白色光源の形式、最も有名なものはキセノンアーチランプの形式をとることが可能である。
(72) 発明者	アンドリュー・エフ・カーヴィング ブライアン・イー・クリスティンソン アメリカ合衆国14820ニューヨーク州ロードエスター、ロシター・ロード47番	[0 0 0 3]
(74) 代理人	100062144 弁理士 関山 健 (外2名)	[課題] レーザ投影ディスプレイシステム

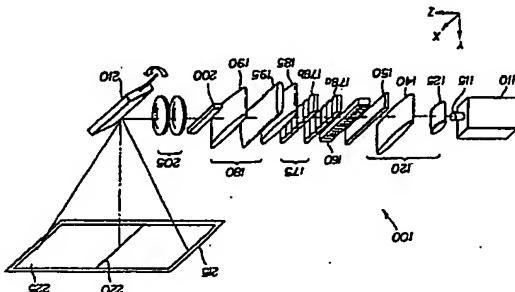
審査請求 未審査 開示請求の数 1 OL 外国民出願 (全 63 頁)	(71) 出願人 SG000846 イーストマン コダック カンパニー アメリカ合衆国、ニューヨーク州ロードエスター、キャサウェイ・ハーバー エスナー、アンドリュー・エフ・カーヴィング アメリカ合衆国14810ニューヨーク州ロードエスター、ロシター・ロード47番
(21) 出願番号 特開2003-7205 (P2003-7205)	(72) 発明者 アンドリュー・エフ・カーヴィング ブライアン・イー・クリスティンソン アメリカ合衆国14820ニューヨーク州ロードエスター、ロシター・ロード47番
(22) 出願日 平成15年1月15日 (2003.1.15)	(74) 代理人 100062144 弁理士 関山 健 (外2名)
(31) 優先権主張番号 1 0 / 0 5 0 0 0 3	
(32) 優先日 平成15年1月16日 (2002.1.16)	
(33) 優先権主張国 米国 (U.S.)	

最終頁に続く

(5) [発明の名稱] レーザ投影ディスプレイシステム

(5) [要約] スペクタルを低下させ、空間光変調器におけるコヒーレンスのアーチファクトを除去する一方で、高いスループット効率を有する、レーザディスプレイシステムを提供する。

[解決手段] ディスプレイ装置は、コヒーレンス長を有する光ビームを放射するレーザ光源と、上記光ビームを拡大するビーム拡大器と、空間光変調器と、上記拡大されたレーザビームを整形して上記空間光変調器の均一な照射を供給するビーム整形光学装置とを含み、上記ビーム整形光学装置は、複数のレンズレットにてなるアレーを有するライズ・アイ・インテグレータを含み、上記光ビームにおいて上記レーザ光源と上記ビーム整形光学装置との間に配置されたディフューザと、上記光ビームの時間的及び空間的な位相を変化させる電気的に制御可能なスペクタル除去装置と、遠隔のスクリーン上に上記空間光変調器の画像を生成する投影レンズとを含む。



ユは、焦点のスポットの半径と開口数との比である。例えば、回折障壁ビームを用いた単一モードの波長の波長は約0.3μmのラグランジュを有し、これは、アーランプのような従来型の白色光ランプの光源に対するラグランジュよりも約1500倍だけ小さい。そのような小さなラグランジュを備えたことによって、レーザは、精密に制御されたビームが望ましいブリーフィングスポットリターンやレーザ光線ショーのためのものを持む。レーザー走査システムにおいて非常に効果的に使用可能である。

[0006]一方、フィルム又は空間光変調器のようないくつかの画像生成媒体の画像がスクリーン又は目標平面に対して、レーザーの高いコヒーレンスと小さなラグランジュとは根本的に望ましくない。そのような画像生成システムにおいて、ラグランジュは、集光レンズの開口数を乗算された、投射される光の直角サイズ(Linear size)（空間光変調器のサイズ）によって決定される。開通した量であるエクランデュも同様に計算される。多くの白色光投影システムにおいて、投影レンズは、可能な限り多くの光を拡散するように、かなりの大口径(fast)（例えば1/3）である。たとえどうであっても、典型的な白色光ランプの光源は、光バブルと投射レンズの両方のオーバーフィルル（すなわち、光の量があふれ）、かなりの量の光が失われる。例えば、一般的な0°、9°の対角光バブルと1/3の投影レンズとを用いた代表的な白色光ランプの光通な光原は、オーバーフィルすることのない適正な光填充するような、ほぼ2.0mmのラグランジュを有している。しかしながら、2乃至10mmの典型的なラグランジュを備えた標準的な白色光ランプは十分に明るくはなく、一般に、この代表的なシステムでオーバーフィルしてしまう。

[0007]（ラスター・キャニニング）に対するアプローチは、1971年6月8日にマシセン（Matheson）に対して発行された特許文献10に明るい。レーザー光ファイバーと光ファイバに結合してファイバを屈曲させることで、モードスクランブルを発生させることを含む。

[0011]スベックルを低下させる解決法に係るもう一つの族は、投影システムの内部で動かされる振動させられる散乱粒子を用いている。典型的には、これは、1977年7月1日にローソン（Rowson）に対して発行された特許文献11に記載されたよに、レーザー光の明るさを低下させることによる。さらに、表示される画像に重なる構造のうち、干涉の効果に対する潜在的な可能性が存在するので、コヒーレントな光源で空間光変調器を照射することによって、回折のアーランプ、中心に不連続な部分を備えたXキーパー、あるいは光学素子上の任意の組み又は欠陥を、直度にコヒーレントな光のビームで照射することによって、回折のアーランプが発生する。ゆえに、そのようなレーザー投影システムに對しては、光源の明るさを増大させること（又は光源のラグランジュを増大させること）が必要である。

[0008]光の明るさに係る構成が生じるということはまた、重要な概念を提供する。投影ディスプレイの光学システムは、解像度比システムの内部で動作する機能性の簡単さに係るシステムの必要条件を最適化し、カーブランスクルのように設置されることが可能である。システムの

「数をシステムの光効率以外の基準に基づいて構成することによって、投影レンズ、カーフィルタ、偏光光学装置のような他のシステム構成要素についての仕様を緩和し、何らかのランプに基づく投影システムと比較してシステムのコストを劇的に低下させることができる。」

[0009]レーザ光源は、投影ディスプレイの照射及び画像生成システムにおける使用のために最適化可能である一方で、結果として、効率を上げるべきスペックルに係る大きな不利益が存在する。スペックルは、ほとんどどのレーザ光源に固有の空間的及び時間的両方の高密度コヒーレンスにより発生する。スペックルは画像中のノイズ成分を生じ、それは、画像の実際の鮮明さを低下させかつ見る人の形態による粒状構造として現われる。このように、スペックルの問題は、適当なレーザ光源が歴史的に次如していたことと同様に、市場性のあるレーザに基づいたディスプレイシステムの開発を阻んできた。

[0010]スベックルを減少させることを試みる方法において、既存技術は豊富に存在している。1つの一般的なアプローチは、レーザ光源の輝幅を広げることによって時間的なコヒーレンスを低下させることである。時間的なコヒーレンスを低下させることに対する他のアプローチは、照射の波面を複数のビームレーザ（beamlets; 又は小ビーム）に分割し、それらをレーザのコヒーレンス、例えば、一般的な0°、9°の対角光バブルと1/3の投影レンズとを用いた代表的な白色光ランプの光通な光原は、オーバーフィルすることのない適正な光填充するような、ほぼ2.0mmのラグランジュを有している。しかしながら、2乃至10mmの典型的なラグランジュを備えた標準的な白色光ランプは十分に明るくはなく、一般に、この代表的なシステムでオーバーフィルしてしまう。

[0011]（ラスター・キャニニング）に対するアプローチは、1971年6月8日にマシセン（Matheson）に対して発行された特許文献10に明るい。レーザー光ファイバーと光ファイバに結合してファイバを屈曲させることで、モードスクランブルを発生させることを含む。

[0011]スベックルを低下させる解決法に係るもう一つの族は、投影システムの内部で動かされる振動させられる散乱粒子を用いている。典型的には、これは、1977年7月1日にローソン（Rowson）に対して発行された特許文献11に記載されたよに、レーザー光の明るさを低下させることによる。さらに、表示される画像に重なる構造のうち、干涉の効果に対する潜在的な可能性が存在するので、コヒーレントな光源で空間光変調器を照射することによって、回折のアーランプ、中心に不連続な部分を備えたXキーパー、あるいは光学素子上の任意の組み又は欠陥を、直度にコヒーレントな光のビームで照射することによって、回折のアーランプが発生する。ゆえに、そのようなレーザー投影システムに對しては、光源の明るさを増大させること（又は光源のラグランジュを増大させること）が必要である。

[0008]光の明るさに係る構成が生じるということはまた、重要な概念を提供する。投影ディスプレイの光学システムは、解像度比システムの内部で動作する機能性の簡単さに係るシステムの必要条件を最適化し、カーブランスクルのように設置されることが可能である。システムの

「数をシステムの光効率以外の基準に基づいて構成することによって、投影レンズ、カーフィルタを光路として用いることのもう1つの不利益は、干渉に対する感度と、光バブルにおける回折のアーランプの発生とに起因して得られる。このことは、フィルム層の非均一性に起因して得られる回折中の輝度を結果的に発生させることがあるが、回折のアーランプにおけるグリッド電極ペイターンは、光変調器におけるアーランプの発生とに起因して得られる。」

[0013]画像プロジェクト中でレーザーを光路として用いることのもう1つの不利益は、干渉に対する感度と、光バブルにおける回折のアーランプの発生とに起因して得られる。このことは、フィルム層の非均一性に起因して得られる回折中の輝度を結果的に発生させることがあるが、回折のアーランプにおけるグリッド電極ペイターンは、光変調器におけるアーランプの発生とに起因して得られる。」

[0014]ゆえに、空間光変調器を使用し、黑封の明さを削除してシステムの輝度を最適化することを可能にし、低速されたスペックルを表示し、空間光変調器におけるコヒーレンスのアーランプを除去する一方で、高いスループット効率を表示する、レーザに基づいて適用可能なディスプレイシステムに対する必要性が存在する。」

[0015] [特許文献1]米国特許第5,828,424号の明細書。

[特許文献2]米国特許第6,233,025号の明細書。

[特許文献3]米国特許第6,233,089号の明細書。

[特許文献4]米国特許第5,740,190号の明細書。

[特許文献5]米国特許第5,311,360号の明細書。

[特許文献6]米国特許第6,307,663号の明細書。

[特許文献7]米国特許第6,084,626号の明細書。

[特許文献8]米国特許第5,224,200号の明細書。

[特許文献9]米国特許第5,272,473号の明細書。

[特許文献10]米国特許第3,588,217号の明細書。

[特許文献11]米国特許第4,035,068号の明細書。

[特許文献12]米国特許第3,490,827号の明細書。

[特許文献13]米国特許第5,313,479号の明細書。

[特許文献14]米国特許第6,005,722号の明細書。

[特許文献15]米国特許第6,323,984号の明細書。

[課題を解決するための手段] この必要性は、本明記に従って、コヒーレンスを有する光ビームを放射するレーザ光原と、上記光ビームを放大するビーム放大部分と、

空間光変調器と、上記拡大されたレーザビームを整形して上空空間光変調器の均一な照射を供給するビーム整形光学装置などを備え、上記ビーム整形光学装置は、複数のレンズレットにてなるアーレーを有するフライズ・アイ・レンズレットにてなるアーレーを有するアーレーにおいて上記レーザ光源と上記ビーム整形光学装置との間に配置されたデイフューザーと、上記光ビームの時間的及び空間的な位相を変化させる電気的に制御可能なスペクルル除去 (de-speckling) 装置と、選択的スクリーン上に上記空間光変調器の画像を生成する投影レンズとを備えたディスプレイ装置を提供することによって満たされる。

は、一般的に、適正な位置の複数の円柱レンズ群を用いる。特に、典型的には、リニア空間光変調器 200 を用いて、 λ 方向に長く、 θ 方向に幅が狭いレーザービームを発生する。この平行化されたビーム 1.3 0 を、 θ 方向に駆動可能なスベックル除去装置 1.6 0 と相作用し、ついでさらにビーム整形光学装置 1.7 0 によって変化させられる。

[図 0019] 図 1 及び図 2 のレーザーディスプレイスメントデバイス構成図 200 を用いて、 θ 方向に幅が狭いレーザービーム 1.3 0 を発生するので、アーレー (x) 方向へ 2.5 ワットの出力がある。この場合があるのにに対して、アーレーに交差する方向の出力、光束は、典型的には均一又はガウス型のビームアーフロファイルで、2.0 ワット至 1.00 μm の幅のものを照射する。

図 1 の精緻化された場合のレーザーディスプレイスメントデバイス構成図 200 上に光のビームを導導光させる、又は光のビームの焦点を合わせる交差アーフ

[00021] それに代わって、第1及び第2のレンズフレットアレー178a及び178bは異なるが所望の照射を供給するように組合された他の設計も可能である。

[00022] ビーム整形光学装置180はまた、フライズ・アイ・インテグレータ175の後に配置された、コ

る。第2のレンズレットアレー1-78bは、コンデンサレンズ1-85と協調して第1のレンズレットアレー1-78aの複数のレンズレットを互いに重複する方式で倍増させ、リニア空間光変調器200において所定範囲の均一な照度を供給する。挽野レンズ190は、リニア空間光変調器200のテレセンティックな照度を供給することで、焦点ぼけ効率に対するシステムの感度を低下させ、かつつの絞りの合計の開口鏡を最小化する。挽野レンズ190は、公称で、挽野画版の照度が乗算されたレンズレンズ190と同時に等しい焦点距離を有する。挽野レンズ190とレンズ1-78aから一軸方向に

ンサンレンズ18.5の焦点距離に等しい必要がある。レンズアレー及びコンデンサンサイン18.5の焦点距離は、典型的には、光学構成的構造を相対的に容易に設計できるよう、ニア空間光変調器2.0mmの十分な動作距離を提供する。個別のレンズレットは、幅100μmほどの小さいものであるが、又は8mmまでの幅の大きいものであってもよく、個別のレンズレットは典型的には幅1.75至5mmである。利可用可能なレンズレットのサイズの範囲は、使用される鏡造技術に依存する。

[0023] ニア空間光変調器2.00は、任意の瞬間に、画像のうちの単一の族2.20を生成する。ガルバノ

るプリズムのようなスキャナは、スクリーンにわたって画像の像を捕引し、スクリーン215上に2次元の領域画像225を形成する。図1及び図2aに示されたレザディスプレイシステム100の場合、本システムは、投影レンズ205がガルバノメータミラー210に先行して配置された、ガスト対物(post-objective)スキヤナとして構成されている。一例として、既にリニア空間光変調器200が400mmの長さの動作領域を有し、フレームレート215以上の所要の画像サイズが30ドライフルフレーム/秒であるとすると、投影レンズ205は～230xの倍率で動作することになる。

[0024] リニア空間光変調器200には、様々な異なる技術が使用可能である。図1及び図2aで恒度に筋

単化して示されているように、このデバイスは、光を、光をどちらの方法で変調することによって画像データを光として読み出すことによって画像データを光信号変調器（光信号変調装置）である。このデバイスは、例えば、人射光の強度を基準に回転させる、PLZTから作られた電気光学素子アレーであることが可能である。この場合、偏光センサームスピリッティックルーム（図示せざる。）は、光ビームの変調された部分と変調されていない部分を分離するためにニア空間光変調器 200 ヒガルメータミラー 210との間にどこかに配置される。

特許第5,309,178号の明細書で説明されている。トランシミッジング光学アレー ルデバイスとよく似たトランシミッジング光学アレー ルデバイス（送信音響光学アレー ルデバイス）であってもよ く、このデバイスは、位相プロファイルを画素毎の基 で入射ビームに伝達する。この場合は、空間フィルタ （図示せざる。）を倍レンズ20内部のフーリエ面 配置することによって、シャリーレン型の光学システム を構成することができる。また、1994年5月10日にブルーム地に対して提出された米国特許第5,311,360号の明細書（特許文献5）に記述されたグ テーティング・ライト・バルブ（GLV）と、001-10月23日にコバーンに対して提出された米国特 許第5,613,632号の明細書（特許文献6）に記述 された共焦点グレーディング装置と、2000年7月 4日にラマスジャパンに対して提出された米国特許第 6,084,626号の明細書（特許文献7）に記述 された電気光グレーディングとのような、反対グレー ディング式変調器アレー を使用することもできる。これら の場合には、レーザー投影ディスプレイ100はまた、光 ビームを鏡面に向かって傾斜させ、かつ反射されたビ ムをミラーシステムへと導くように変形される必要がある（図1及び図2）。これはこのようないわゆる「ミラ ー」をミラーシステムへと導くように変形される必要があ る（図1及び図2）。

これらは光学システム設計の分野では一般的な技術の 間である。

（0025）レーザー110とビーム整形光学装置18 の間に、撮影システムの結構の必要条件に適合するた らにレーザー光の発生又はエネルギー密度を調整する。リニア空間光調 制器100を構成する2つのレーザーデバイスア ピアシステム200を構成する2つのレーザーデバイスア ピア150もまた1次元である。すなわちディフューザ150は 光バルアレー の長手方向（図面ではx方向）に沿つて 並んでおり、一方のビームは公称では変更され ないままにする。この1次元のディフューザ150は ちょうど光バルブを有効に照射するのに十分だけの 亂を生成し、圖像にフレア光を導入するほどの散乱を 生成することはない。例的的な1次元のディフューザは メムスオプティカル（MEMS Optical）から利用可能な

(7) 11
折り線発生器と、フィジカル・オブティクス・コードレーション(Physical Optics Corp.)から利用可能な
精円カロラフィックディフェーザとを含む。【0026】特に、ディフェーザ150は、レーザ投影
ディスプレイ100の照射光学システム内で、光路の明
るさを低くさせる(ラグランジュを増大する)ために使
用されている。それに応じて、ディフェーザの角度0°
及びディフェーザ150の位置は選択される。システム
のラグランジュは、ディフェーザ150の位置は、ライ
ズ・アイ・インテグレータ175をもたない同様のシス
プロファイルの幅の半分と、ディフェーザ150によっ
て強調される光の角度の半分との間にによって決定され
る。希望のシステムのラグランジュは、特定される画像
の解像度から推測されることが可能であり、画像の解像
度はリニア空間で変調器200の解像度と投影レンズ2
0の解像度とともに校正する。比較として、典型的なラ
ンプに基づくプロジェクタでは、システムのランプシ
ュはシステムの光効率を最大化する必要性によって決
定される。その結果、レーザディスプレイの投影レンズ
は、「数を、從来技術のランプに基づくシステムに必要
な1/1の代わりに、1/7乃至1/1の範囲で有する
ことが可能である。レンズの1/数に対する実際の設計
目標は、レンズの品質を決定するために指定される基準
基準に依存する(例えば、レイリー又はスパローの基準
基準)が適用可能である)。【0027】一例として、長さ40mmのリニア空間光
変調器200とf=10mmの投影レンズ205との組み合
せは、X方向に~1.0mmで、投影システムの目標ラ
グランジュを特定する。この例では、ディフェーザ15
0は半分の角度θ=5.0°を有することが可能であ
り、2.2mmの直径を有する平行化されたビームによ
つて照射されるように照射システム内に配置され
る。この例では、レーザ光のラグランジュは~0.3mm
から~1.0mmにまで弱められ、介在する
光学システムが適切な倍率及びレンズ解像を有するもの
と仮定すれば、リニア空間光変調器200にペキュラ
(pecular)のf=10mmのビームを供給することができ
る。従って、適正なディフェーザ150の調整を介し
て、効果的なレーザ光路のラグランジュ又は明るさを光
学システムの必要性に応じて調整することが可能であ
り、これにより、伝統的なランプに基づくシステムに比
べてシステムの光効率を増大させ、光学的な設計を簡
化することができる。【0028】ディフェーザ150は実際にレーザ光のコ
ヒーレンズをある程度は低減させるが、レーザ光は、出
力されるビームにスペックルを与えるのに十分なだけコ
ヒーレントのままである。このスペックルがさもなく底減
されなければ、これは、リニア空間光変調器200及び
スクリーン211の両方で、光の強度における望ましく
ないランダムな変動として存在することになる。しかし
ながら、主としてリニア空間光変調器200に均一な照
明の波長及び角度範囲で同時に動作することができる。
160は、一連の個別の変調器部分との間に1対1の対
応が存在する必要はないということに注意する必要があ
る。実際に、本光学システムはビームセパレーターの必
要はまったくなく、例えば、画像変調のためにフィルム
のようならナラログ媒体を使用することも可能である。
160の発明のレーザディスプレイ100に使用
される電気的に制御可能なスベックル除去装置160
は、光ビーム3-40を介してパルク電気光気基
板370に入射し、その後は変調器を横断して出力ア
センタ345から射出する。160は、光ビーム3-41電気的に制御可能なスベックル除去装置
を製造するための電気光気材料の選択肢は多く存在す
るが、その中にはニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウ
ム及びPLZTが含まれている。簡単化を図るために、電
気的に制御可能なスベックル除去装置のためのパラメ
ータに用いる以後の議論の中心は、主として6.33nm
で照射されるタンタル酸リチウムを使用することにおく
るが、その幾何学的形状が複雑な材料及び照射波長に適
用されるという点は理解される必要がある。異なる材
料が使用される場合は、正しい触が使用されていること
を保証するように配慮しなければならない。例えば、こ
うしたデバイスの設計にPLZTを使用すると、電気光
学係数が大きいために、変調器部分に沿って反射のオー
ダーで大きい位相差を発生させることができることが可能である。
しかしながら、結晶は、照射される電界が結晶の適正な
軸を介して光場(optical field)と相互作用するよう
に向き付けられる必要がある。160は、その幾何学的形状がカットで表示され
ている。該几何学的形状はカットで表示され、これ
は異なる電圧が印加されるか又
は異なる時間間隔の電圧が印加されるか又
はだけ伝播するときの位相差に対する位相差が生
じる。位相プロファイルに対するこの運動は、スベック
ルの表現を大幅に低減させる。現れた位相差を空間
的に提供する電圧分布を選び出し、かつそれを時間的に
変化させることにより、空間的及び時間的両方の位相
変動が光ビームへと導入される。160は、その制御可能な空間的に変動するランダムな
位相プロファイルがスペックルの低減へと移行(transi
tive)する方法で、レーザ投影ディスプレイの光学シス
템に包含される。光学的に制御可能なスベックル除去
装置160は、コヒーレンスの低減へと移行(transi
tive)する方法で、レーザ投影ディスプレイの光学シス
템に包含される。光学的に制御可能なスベックル除去
装置160は、電界がx方向に沿って伝播する。骨の構造を得るために、変調
器を介して進行する光はx方向(横方向)に沿って偏光
される。電気的に制御可能なスベックル除去装置につ
いての議論のために、結晶軸と伝播軸とが混同されない
よう光の伝播方向をx軸と呼ぶ。(注意: 図3、図4
及び図6は、電気光光学基板のための標準的な座標系を使
用している)に対して、図1、図2、図8、図9及び図
10は、光がx軸に沿って伝播する、典型的な光学の透
鏡系を使用している。)結晶の他のカット及び偏光軸
形状も使用可能であるが、この第1の実施例ではyカッ
トが最適である。160は、光のビーム3-20が変調器のy軸
に沿って伝搬している状態の、電気的に制御可能なスベ
ックル除去装置160の断面図を示している。変調器
の入力アセンタ及び出力アセンタは、反射防止コー
ディングがされていれば効果的であるといえる。さら
に、本デバイスは位相面を効果的に移動するので、変調
器への入射光は鏡と光原から同時に到達することが可
能であるということとは認識されている必要がある。電気
的に制御可能なスベックル除去装置160は、いくつ
かの波長及び角度範囲で同時に動作することができる。
160は、光のビーム3-20が変調器のy軸
に沿って伝搬している状態の、電気的に制御可能なスベ
ックル除去装置160の断面図を示している。変調器
の入力アセンタ及び出力アセンタは、反射防止コー
ディングがされていれば効果的であるといえる。さら
に、本デバイスは位相面を効果的に移動するので、変調
器への入射光は鏡と光原から同時に到達することが可
能であるということとは認識されている必要がある。電気
的に制御可能なスベックル除去装置160は、いくつ
かの波長及び角度範囲で同時に動作することができる。

個のレンズレットで十分な光の均一性を提供している。これに比歎すると、典型的な空間光変調器 2.0/0.4 は、比較的多數 (N) の密集した圓錐を備えているアレーであつて、2.56 箇と 4.96 箇の間の画素数ほどなんどのアリケーションに対する応用である。図 1 及び図 2 の電気的・角運動可能なスペックル除去変調器 1.6/0 における変調器部分の画素数 (P) は、スペックルの規則性を低減させるその効力によって決定され、レンズレットの個数 (N) にも変調器の画素数 (M) にもほぼ依存しない。

[0.04.9] 電気的に制御可能なスペックル除去変調器 1.6/0 が、それによって導入される位相の変化又は選択はレーザ光ビームのヒーレンス長に比べて小さい ($\phi \ll C\lambda$) という条件下で動作していると仮定すると (波長に対して数 mm)、電気的に制御可能なスペックル除去変調器 1.6/0 は、図 7 d におけるように光ビームの波面を所的に変えるよう使用可能である。この場合は、1 個のレンズレットにおいて多数の変調器部分が存在することになる (P > N)。照射システム内でも、画像生成する光のビームの波面を変形する (屈曲する) ためには、電気的に制御可能なスペックル除去変調器 1.6/0 は、結果される平面 (又はその共役平面のうちの 1 つ) のファーフィールド (遠視場) を使用される。従つて、電気的に制御可能なスペックル除去変調器 1.6/0 が第 1 のレンズレットアレー 1.78 a に先行して配置され、かつこのレンズレットアレーが空間光変調器 2.0/0 に対して画像を投すである図 1 のシステムでは、電気的に制御可能なスペックル除去変調器 1.6/0 は、レンズレットアレーから最も小限でも焦点距離 (DOF) 上り大きくオフセットされ、最適な場合としては、この共役平面のファーフィールドに存在している (約) $> 10 \times$ DOF)。

[0.05.0] 同様に、図 2 b に示されたように、電気的に制御可能なスペックル除去変調器 1.6/0 が第 1 のレンズレットアレー 1.78 a と第 2 のレンズレットアレー 1.78 b の間ににおいて第 2 のレンズレットアレー 1.78 b に近接して配置されれば、電気的に制御可能なスペックル除去変調器 1.6/0 は定義によつて第 1 のレンズレットアレーのファーフィールドに配置されているので、波長構造の位相を変化させることができる。本光学システムは、光が第 2 のレンズレットアレー 1.78 b のレンズレットをアンダーフィルする (すなわち、光の量が不足する) ように故意的に設計せざることは可能なのでも、電気的に制御可能なスペックル除去変調器 1.6/0 に必要なフィルタクォータは低減されることが可能であり、これにより、変調器部分に対する代替的かつ要件の緩和された電気的アドレース指付が可能にされ得る。同様に、電気的に制御可能なスペックル除去変調器 1.6/0 は、第 2 のレンズレットアレー 1.78 b の後に、かつ最も適当な場合には第 2 のレンズレットアレー 1.78

b) ヒコンデンサンレンズ1.8×5との間に配置されることも可燃である。これらの様々な場合に対して、電気的に耐御可能なスペックル除去装置器1.60によって駆除され、その表面の変差は、大部分、スペックルの生成に寄与する波面の局所的な干渉に影響する。この構成はまた、ビーム形状光学装置によつて供給される画像生成の品質にも影響し、これにより、照度される距離のエッジに幾分かの軟調(softness)を発生させる。

10 1.0.5.1 それについて、電気的に制御可能なスペックル除去装置器1.60がレーザー光のヒーレート景に比べて小さい波長の変化又は変位(λ₀→λ)を提供するこの同じ場合には、電気的に制御可能なスペックル除去装置器は、照射システム内の精巧な波面を整化させることよりもむしろ、光を散乱させたり反射させたりするデバイスのように機能するよう、に、光学システム内に配置されることが可能である。この場合、変調器部分の個数はレンズプレットの個数よりも多く(P>N)、電気的に制御可能なスペックル除去装置器1.60は、照射システム内の精巧な平面(ニアフィールド・近視野)に配置される。すなわち、電気的に制御可能なスペックル除去装置器1.60は、公称では、第1のレンズプレットアレーレー1.78 aの直前又は直後に配置され、かつ公称では共投画像平面(空間光変調器2.00において画像平面)と共に設置している必要がある。

10 1.0.5.2 これに対して、電気的に制御可能なスペックル除去装置器1.60が、それによって導入される位相の変化又は変位はレーザ光源1.10からの光のコヒーレンスとと同じオーダーである(λ₀~C₁)という条件下で動作していることが仮定されていれば、本デバイスは、1つの光ビームに関する光の相対的な時間的コヒーレンスに対して、他のものに直接に影響することができる。この場合、変調器部分の個数がレンズプレットの個数と同一であり(P=N)、かつ複数の変調器部分がレンズプレットアレー1.78 aのうちの与えられたレンズプレット及び変調器部分を通過して光ビームについて、時間的コヒーレンスはそのものに関して変更される。各ヒームは、空間光変調器2.00において照射される領域内にその独自のスペックルパターンを生成するが、スペックル全体は、変調器部分のランダムな運動に伴つて時間的に変化する。この場合、電気的に制御可能なスペックル除去装置器1.60は第1のレンズプレットアレー1.78 aに先行して配置されることが可能であるが、ファーフィールド又はニアフィールドの位置に於けるいかなる既存の制約も存在しない。同時に、電気的に制御可能なスペックル除去装置器1.60は、第1のレンズプレットアレー1.78 aと第2のレンズプレットアレー1.78 bの直後に配置されることが可能である。この構成は、(A₀)

C1) 位相の選択がコヒーレンス長よりかなり大きい場合 (2倍～3倍又はこれ以上) に、さらに良好に動作するであろう。

[0 0 5 3] それ代わって、電気的に制御可能なスベックル除法変調器が、通過する光の相対的な時間的コヒーレンスに直接影響することができるよう、それに伴つて導入される位相の変化又は選択がレーザ光原点 1 0からの光のコヒーレンス母と同じオーディオ～C1) という条件下で動作する、電気的に制御可能なスベックル除法変調器 1 0 0 は、変換器部分の個数 (P) がレンズレットの個数 (N) より多い ($P > N$) 時で、電気的に制御可能なスベックル除法変調器 1 0 0 の内部に提供されるこの場合、電気的に制御可能なスベックル除法変調器は、各レンズレットアレーにわたってコヒーレンスを空間的にランダム化し、後で空間光変調器 2 0 0 及びスクリーン 2 1 5 にわたってコヒーレンスを空間的にランダム化するために使用可能である。この例では、電気的に制御可能なスベックル除法変調器 1 0 0 は、小さな位相の収差で波面を変化させるために使用されるのではなく、1つの空間的な領域のコヒーレンスを他のものに關して変化させ、ほぼ非コヒーレンスな光源を効果的に合成するために使用される。変調器部分の個数がレンズレットの個数より適度に多ければ (例えば 8×8) 、電気的に制御可能なスベックル除法変調器 1 0 0 は第 1 のレンズレットアレー 1 7 8 μ に先行して配置されることが可能であるが、(変調器部分が可視光を回折、散乱又は散乱するほど小さくない) フィールド又はニアフィールドの位置に關するいかなる厳密な制約も存在しない。この場合は、各レンズレットを通して通過する光のビームが、比較的大きな複数の際接した領域へと分割され、時間的コヒーレンスはこれらの領域内で変動する。しかしながら、レンズレットの個数に比較して多數の変調器部分が存在する ($P > N$) 、電気的に制御可能なスベックル除法変調器 1 0 0 がむしろディフューザのように機能する場合は、スベックル除法変調器 1 0 0 は第 1 のレンズレットアレー 1 7 8 μ のニアフィールドに配置される必要がある。この場合、電気的に制御可能なスベックル除法変調器 1 0 0 は、レンズレットアレー 1 7 8 μ の直前又は直後に配置されることが可能であり、かつ公称では共軸画像平面 (空間光変調器 2 0 0 において画像平面に共役である) のニアフィールド内 ($< 10 \times \text{DOF}$) に存在している必要がある。スベックル除法変調器 1 0 0 によって供される位相の選択がコヒーレンス長より ($\Delta\phi > C_1$) かなり大きい場合は (2倍～3倍又はこれ以上) 、これらの構成はさらに良好に動作するであろう。

[0 0 5 4] 要約する、レーザディスプレイスистем 1 0 0 は、スベックルの底版／無相干化 (de-correlation) の技術の組み合わせを使用することにより、遠隔のスクリーン 2 1 5 上に投影された、知覚可能なスベックル

D) ルを含まない画像を提供するように設計されている。ディフューザ 1 5 0 を使用することは、光の弱弱なグラシジョン又はエタンデュをはすでなく、コヒーレンス入射ビームを、多數の、よし代り、均一なコヒーレンスの小さい波面に分割する。また、均一な照射の領域を生成するために、再び絞られる複数のビームレットに光を分割する、ライス・アイ・インテグレータ 1 7 5 のような光積分システムの使用もまた、ディフューザからの多くの局所的な寄り分をスクリーンにわたりて重複することによってさちらなるスベックル除法変調器 1 0 0 の強度用は、照射光の一端の局所的な位相を照射光の他の部分に關して分離させる手段を提供し、これにより、局所的な空間的及び／又は時間的なコヒーレンスの關係が変化する。これにより、局所的な波面の位相構造、波面間の時間的なコヒーレンスの関係、又は空間領域にわたる時間的なコヒーレンスのいずれかを変化させることができる。さらに、レーザディスプレイ 1 0 0 におけるスベックルを低減するためには、ディフューザ 1 5 0 が、散乱させる表面の少なくとも特有の特徴のサイズだけは移動するよう、ディフューザ 1 5 0 、ディフューザにリニアの、回転の、又はランダムな運動を伝達する運動機構に接着させることが可能であるということに注意する必要がある。運動の周波数は、フレンカの周波数より大きいものでなければならぬ ($> 100 \text{ Hz}$)。次に、スベックルの捲れ性は、画像の空間的広がりの全体にわたり局所的な領域におけるスペックルの位置や大きさを時間について平均化することにより、スベックルパターンを無相干化することによってさらに圧縮される。

[0 0 5 5] その構成及び動作に依存して、電気的に制御可能なスベックル除法変調器 1 0 0 は、光源のグラシジョン又はエタンデュを実質に計測可能な程度に増大させるために、光ビームに反して、回折又は散乱のよう十分な位相移を与えることができる。アレー方向に比較的コヒーレントな照射を必要とするニア空間光変調器 2 0 0 を使用して設計された投影システムの場合、投影システムの画像生成の必要条件を満足するためには、電気的に制御可能なスベックル除法変調器 1 0 0 によって供される光源のランゲンジニエにおける小さな変化で十分であるといつよい。この場合は、レーザディスプレイスистем 1 0 0 はディフューザ 1 5 0 なしで構成されることが可能である。

[0 0 5 6] 図 1 及び図 2 の交差アーレー光学装置は、ただ 1 つの円柱レンズである交差アーレーレンズ 1 9 を備えた、簡便化された光学システムを示しているということでもまた認識される必要がある。交差アーレーコンデンサ 1 9 は、交差アーレー方向との光ビームを調整するために、これをニア空間光変調器 2 0 0 の相互作用のために最適化する。このビーム調整には、複数の円柱レンズ群が

23 子を使用可能であるということは理解される必要がある。レーザ投影システム100内のリニア空間光変調器200に先行するレンズ系子のいくつかは鏡面レンズであつても、かつアーレーム及び交差アーレームの双方を形成することができるという点も理解されなければならない。同時に、投影レンズ205が2.1.5におけるアレー方向又は交差アレー方向のいずれかのスパン形成をさらに制御するために、円柱レンズ(図示せず。)を含むことも可能である。同時に、電気的に制御可能なスペックル除去変調器160と連携して操作することが可能である。

10 24 [0058] 典型的なレーザビーム1.1.5は、不均一な光の強度のプロファイルを有するので(グラスプロファイルが一貫的である。)、ビームレシート2.4.5のそれぞれも不均一となり、同様に、複合レーザビーム2.5.0も不均一となる。図1のシステムの場合には、画像生成のため、交差アーレーム1.9.5又はその等価物は、電気的に制御可能なスペックル除去変調器160から放出される必要がある。特に、ムーラン(Moulin)の特許において記述されている、部分バー／カレイドスコープは、ビーム整形光学装置170のための代替の設計において使用可能であり、均一な黒枠を提供するとともに、ディフェューザ1.5.0及び電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0と協働してスペックル低減に対する効果をもたらす。

20 [0057] 図8に、レーザ投影ディスプレイ1.0.0の代替構成が示され、ここでは、ビームスプリッタアーレームレシート2.4.5間の光学距離の長さの差(Δd)を減少させようにより光学距離差を提供している。ビームスプリッタアーレーム2.4.0は、レーザレンズのオーダーであるか又はこれより長い、隣接するビームレシート2.4.5間の光学距離の長さの差(Δd)を有する一連のビームレシート2.4.5を生成する。(R)個の部分反射ミラーにより成る装置を備えている。最適には、光学距離の差(Δd)は、レーザ1.1.0のビームレンズ長C1と同じオーダーのサイズである。ビームスプリッタアーレーム2.4.0の倍数のミラーは、最初のミラー(2.4.1a)から最後のミラー(2.4.1e)へと順次増加する反対串によって、部分的に透過しかつ部分的に反射している。ビームスプリッタアーレーム2.4.0は、複数のミラーのアレーとして示されているが、ブリズムアレー及び他の構造も使用可能である。ビームスプリッタアーレーム2.4.0は、R側のビームレシートを使用して複数のビームスプリッタアーレーム2.5.0内の時間的コヒーレンスに重要な変数(significantly variable)であるため、適用される位相の変化がコヒーレンスよりも小さい(Δd < C1)と仮定すれば、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0を追加してさらに改善される。複合レーザビーム2.5.0の内側の時間的コヒーレンスは、既に重要な変数(significantly variable)であるため、適用される位相の変化がコヒーレンスよりも大きい(Δd > C1)と仮定すれば、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0を追加してビームレシート2.4.5に動作する。しかしながら、R側のビームレシートはコヒーレンスC1に見合う異なる光学距離の差(Δd1, Δd2, Δd3, など)を有するので、光の時間的なコヒーレンスは、複合レーザビーム2.5.0の空隙時間的なコヒーレンスを構成することが可能である。また、2次元

25 内に第1のレンズレシートアレー1.7.8aに先行して配置されることが可能である(図8を参照)。同様に前述のように、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0は、複合鏡平面のファーフィールドの下流側に、第2のレンズレシートアレー1.7.8bに近接して、図2bのよう前に配置されるか、又は後に配置されるかのいずれかが可能である。それに伴って、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0がコヒーレンス段間に位置する位相の変化を提供すれば(Δd ~ C1)、本10に匹敵する効率を有する。そこで、複合レーザビーム1.1.5を照射し、レーザビーム1.1.5は、空間光変調器(液晶ディスプレイ2.5.5)を照射するために、ビーム整形光学装置1.2.0及びディフェューザ1.5.0とビーム整形光学装置1.7.0によってチメラ盤される。

次いで、前述のように、ディフェューザ1.5.0と、ライズ・アイ・インテグレータ1.7.5と、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0とはすべて、空間光変調器及びスクリーン2.1.5における2次元にわたるスペックルの存在を低減するために併用する。図1のシステムとは異なり、図9のシステムでは、2次元のスクリーン15上の画像は直立によって形成されるのではなく、投影レンズによって形成される。液晶ディスプレイ2.5.5は、電気的に制御可能なスペックル除去変調器(液晶ディスプレイ2.5.5)をスクリーン2.1.5に直接に接続する。照射光は、プレボラティザ2.6.0及び偏光ビームスプリッタ2.6.5を通路する。液晶ディスプレイ2.5.5は印加されるコマンド信号に基づいて回転させる。投影レンズ2.5.0によってスクリーン2.1.5へと向かわれる。空間の屈折状況に基づいて回転される。投影レンズ2.5.0は、空間光変調器から2次元のデータへ切り換えることによる主たる影響は、屈折光装置と電気スクリーンからのデジタル・ミラー・デバイスを含む)が車輌している。図1のレーザディスプレイシステムに車輌するため、各ビームのデータは、屈折光装置から2次元のデータへ切り換えることによる主たる影響は、屈折光装置と電気スクリーン2.5.0において屈折の均一さを改善しつつ光源を変化させるために、ディフェューザ1.5.0はまた、複合レーザビーム2.5.0をさらに幾分か均一にかつコヒーレンスを低減させるように働く。同じく前述のように、空間光変調器2.0.0において屈折の均一さを改善しつつアーレームの強度のプロファイルを有するので(グラスプロファイルが一貫的である。)、ビームレシート2.4.5のそれぞれも均一となり、同様に、複合レーザビーム2.5.0も均一となる。図1のシステムの場合には、画像生成のため、交差アーレーム1.9.5又はその等価物は、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0と連携して操作することが可能である。

10 26 元構成として使用するためにより導電性のある他の電気光学材料を有する。次いで2次元の画像を調する空間光変調器のアレーを有するレーザディスプレイシステム内に配置されることが可能な、他のタイプの電気的に制御可能なスペックル除去変調器を設計可能であるといふことも理解される必要がある。

10 06 11 例えば図9は、LCDのように平面型の変調器アレーを使用するレーザ投影ディスプレイ1.0.0の断面図を示している。前述のように、レーザ1.1.0はレーザビーム1.1を放射し、レーザビーム1.1.5は、空間光変調器(液晶ディスプレイ2.5.5)を照射するために、ビーム整形光学装置1.2.0及びディフェューザ1.5.0とビーム整形光学装置1.7.0によってチメラ盤される。

次いで、前述のように、ディフェューザ1.5.0と、ライズ・アイ・インテグレータ1.7.5と、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0とはすべて、空間光変調器及びスクリーン2.1.5における2次元にわたるスペックルの存在を低減するために併用する。図1のシステムとは異なり、図9のシステムでは、2次元のスクリーン15上の画像は直立によって形成されるのではなく、投影レンズによって形成される。液晶ディスプレイ2.5.5は、電気的に制御可能なスペックル除去変調器(液晶ディスプレイ2.5.5)をスクリーン2.1.5に直接に接続する。照射光は、プレボラティザ2.6.0及び偏光ビームスプリッタ2.6.5を通路する。液晶ディスプレイ2.5.5は印加されるコマンド信号に基づいて回転させる。投影レンズ2.5.0によってスクリーン2.1.5へと向かわれる。空間の屈折状況に基づいて回転される。投影レンズ2.5.0は、空間光変調器から2次元のデータへ切り換えることによる主たる影響は、屈折光装置と電気スクリーンからのデジタル・ミラー・デバイスを含む)が車輌している。図1のレーザディスプレイシステムに車輌するため、各ビームのデータは、屈折光装置から2次元のデータへ切り換えることによる主たる影響は、屈折光装置と電気スクリーン2.5.0において屈折の均一さを改善しつつ光源を変化させるために、ディフェューザ1.5.0はまた、複合レーザビーム2.5.0をさらに幾分か均一にかつコヒーレンスを低減させるように働く。同じく前述のように、空間光変調器2.0.0において屈折の均一さを改善しつつアーレームの強度のプロファイルを有するので(グラスプロファイルが一貫的である。)、ビームレシート2.4.5のそれぞれも均一となり、同様に、複合レーザビーム2.5.0も均一となる。図1のシステムの場合には、画像生成のため、交差アーレーム1.9.5又はその等価物は、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0と連携して操作することが可能である。

10 26 10 06 11 例えば図9は、LCDのように平面型の変調器アレーを使用するレーザ投影ディスプレイ1.0.0の断面図を示している。前述のように、レーザ1.1.0はレーザビーム1.1を放射し、レーザビーム1.1.5は、空間光変調器(液晶ディスプレイ2.5.5)を照射するために、ビーム整形光学装置1.2.0及びディフェューザ1.5.0とビーム整形光学装置1.7.0によってチメラ盤される。

次いで、前述のように、ディフェューザ1.5.0と、ライズ・アイ・インテグレータ1.7.5と、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0とはすべて、空間光変調器及びスクリーン2.1.5における2次元にわたるスペックルの存在を低減するために併用する。図1のシステムとは異なり、図9のシステムでは、2次元のスクリーン15上の画像は直立によって形成されるのではなく、投影レンズによって形成される。液晶ディスプレイ2.5.5は、電気的に制御可能なスペックル除去変調器(液晶ディスプレイ2.5.5)をスクリーン2.1.5に直接に接続する。照射光は、プレボラティザ2.6.0及び偏光ビームスプリッタ2.6.5を通路する。液晶ディスプレイ2.5.5は印加されるコマンド信号に基づいて回転させる。投影レンズ2.5.0によってスクリーン2.1.5へと向かわれる。空間の屈折状況に基づいて回転される。投影レンズ2.5.0は、空間光変調器から2次元のデータへ切り換えることによる主たる影響は、屈折光装置と電気スクリーンからのデジタル・ミラー・デバイスを含む)が車輌している。図1のレーザディスプレイシステムに車輌するため、各ビームのデータは、屈折光装置から2次元のデータへ切り換えることによる主たる影響は、屈折光装置と電気スクリーン2.5.0において屈折の均一さを改善しつつ光源を変化させるために、ディフェューザ1.5.0はまた、複合レーザビーム2.5.0をさらに幾分か均一にかつコヒーレンスを低減させるように働く。同じく前述のように、空間光変調器2.0.0において屈折の均一さを改善しつつアーレームの強度のプロファイルを有するので(グラスプロファイルが一貫的である。)、ビームレシート2.4.5のそれぞれも均一となり、同様に、複合レーザビーム2.5.0も均一となる。図1のシステムの場合には、画像生成のため、交差アーレーム1.9.5又はその等価物は、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0と連携して操作することが可能である。

10 06 11 例えば図9は、LCDのように平面型の変調器アレーを使用するレーザ投影ディスプレイ1.0.0の断面図を示している。前述のように、レーザ1.1.0はレーザビーム1.1を放射し、レーザビーム1.1.5は、空間光変調器(液晶ディスプレイ2.5.5)を照射するためのために、ビーム整形光学装置1.2.0及びディフェューザ1.5.0とビーム整形光学装置1.7.0によってチメラ盤される。

次いで、前述のように、ディフェューザ1.5.0と、ライズ・アイ・インテグレータ1.7.5と、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0とはすべて、空間光変調器及びスクリーン2.1.5における2次元にわたるスペックルの存在を低減するために併用する。図1のシステムとは異なり、図9のシステムでは、2次元のスクリーン15上の画像は直立によって形成されるのではなく、投影レンズによって形成される。液晶ディスプレイ2.5.5は、電気的に制御可能なスペックル除去変調器(液晶ディスプレイ2.5.5)をスクリーン2.1.5に直接に接続する。照射光は、プレボラティザ2.6.0及び偏光ビームスプリッタ2.6.5を通路する。液晶ディスプレイ2.5.5は印加されるコマンド信号に基づいて回転させる。投影レンズ2.5.0によってスクリーン2.1.5へと向かわれる。空間の屈折状況に基づいて回転される。投影レンズ2.5.0は、空間光変調器から2次元のデータへ切り換えることによる主たる影響は、屈折光装置と電気スクリーンからのデジタル・ミラー・デバイスを含む)が車輌している。図1のレーザディスプレイシステムに車輌するため、各ビームのデータは、屈折光装置から2次元のデータへ切り換えることによる主たる影響は、屈折光装置と電気スクリーン2.5.0において屈折の均一さを改善しつつ光源を変化させるために、ディフェューザ1.5.0はまた、複合レーザビーム2.5.0をさらに幾分か均一にかつコヒーレンスを低減させるように働く。同じく前述のように、空間光変調器2.0.0において屈折の均一さを改善しつつアーレームの強度のプロファイルを有するので(グラスプロファイルが一貫的である。)、ビームレシート2.4.5のそれぞれも均一となり、同様に、複合レーザビーム2.5.0も均一となる。図1のシステムの場合には、画像生成のため、交差アーレーム1.9.5又はその等価物は、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0と連携して操作することが可能である。

10 06 11 例えば図9は、LCDのように平面型の変調器アレーを使用するレーザ投影ディスプレイ1.0.0の断面図を示している。前述のように、レーザ1.1.0はレーザビーム1.1を放射し、レーザビーム1.1.5は、空間光変調器(液晶ディスプレイ2.5.5)を照射するためのために、ビーム整形光学装置1.2.0及びディフェューザ1.5.0とビーム整形光学装置1.7.0によってチメラ盤される。

次いで、前述のように、ディフェューザ1.5.0と、ライズ・アイ・インテグレータ1.7.5と、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0とはすべて、空間光変調器及びスクリーン2.1.5における2次元にわたるスペックルの存在を低減するために併用する。図1のシステムとは異なり、図9のシステムでは、2次元のスクリーン15上の画像は直立によって形成されるのではなく、投影レンズによって形成される。液晶ディスプレイ2.5.5は、電気的に制御可能なスペックル除去変調器(液晶ディスプレイ2.5.5)をスクリーン2.1.5に直接に接続する。照射光は、プレボラティザ2.6.0及び偏光ビームスプリッタ2.6.5を通路する。液晶ディスプレイ2.5.5は印加されるコマンド信号に基づいて回転させる。投影レンズ2.5.0によってスクリーン2.1.5へと向かわれる。空間の屈折状況に基づいて回転される。投影レンズ2.5.0は、空間光変調器から2次元のデータへ切り換えることによる主たる影響は、屈折光装置と電気スクリーンからのデジタル・ミラー・デバイスを含む)が車輌している。図1のレーザディスプレイシステムに車輌するため、各ビームのデータは、屈折光装置から2次元のデータへ切り換えることによる主たる影響は、屈折光装置と電気スクリーン2.5.0において屈折の均一さを改善しつつ光源を変化させるために、ディフェューザ1.5.0はまた、複合レーザビーム2.5.0をさらに幾分か均一にかつコヒーレンスを低減させるように働く。同じく前述のように、空間光変調器2.0.0において屈折の均一さを改善しつつアーレームの強度のプロファイルを有するので(グラスプロファイルが一貫的である。)、ビームレシート2.4.5のそれぞれも均一となり、同様に、複合レーザビーム2.5.0も均一となる。図1のシステムの場合には、画像生成のため、交差アーレーム1.9.5又はその等価物は、電気的に制御可能なスペックル除去変調器1.6.0と連携して操作することが可能である。

27

28

する点が異なる。個別の画素は複数のマイクロミラーにによって形成され、上記マイクロミラーは、光を、投影レンズ205の開口部290を通して透過するかのように向けるか、又は中央部285(十なわちシャリーレン型光学システム)に向けるかのいずれかを行う。画素の明るさは、レンズの開口部290を介して光が向かれるフレーム内における時間の比率を透析することによって制御される。このタイプのシステムは、図10の場合のようないくつも空間光変調器アレー、2Dのフレイズ・アライ・システム、及び2Dの電気的に制御可能なスベックル除虫去変調器160を含むが、それに代わって1Dの空間光変調器アレー、1Dのフレイズ・アライ・システム、1Dの電気的に制御可能なスベックル除虫去変調器160、及び図1で使用されているガルバノメータのようなスクナを含むかのいずれかで構成されることが可能である。

[0063] 簡単化のために、本発明は、單一のレーザーと單一の空間光変調器とを使用して実地説明しているが、より一般的な構成がフルカラーのRG-B撮影ディスプレイに対して向かわれる。システムは、別個の光学距離をたどって個々の赤と緑と青の空間光変調器を照射する、別個の赤と緑と青の光ビームは、3つの別々のレーザーには撮影レンズの前部に配置されたアーリズムによって結合された色となり、結果的に生じる光ビームがスクリーンに映像されて多色(polychromatic)画像を提供する。別個の赤と緑と青のビームは、撮影レンズの後方から非線形光学装置の組み合わせを使用して3つのビームを抽出する1つのOPO型レーザーパッケージから、もしくは、後で色を分解する單一の白色光レーザーピーム出力を供給するように統合されたOPO型レーザーパッケージから発生されることが可能である。

[0064] [発明の效果] 本発明は、光学システムの照射部分に内に配置された電気的に制御可能なスベックル除虫去変調器の料規図において示す。

[図6 a] 本発明のレーザ投影ディスプレイにおいて使用可能な、代替の電気的に制御可能なスベックル除虫去変調器の料規図である。

[図6 b] 本発明のレーザ投影ディスプレイにおいて使用可能な、代替の電気的に制御可能なスベックル除虫去変調器の料規図である。

[図7 a] 本発明に係る変調器の効果を、入射する平行化された光線の場合は、影響を受けない波面に示す。

[図7 b] 本発明に係る変調器の効果を、入射する平行化された光線の場合は、影響を受けない波面に示す。

[図7 c] 本発明に係る変調器の効果を、入射する集束する光線の場合に、影響を受けない波面に示す。

[図7 d] 本発明に係る変調器の効果を、入射する集束する光線の場合に、アボートされた波面上に示す。

[図8] コヒーレンス長のオーダーの複数の連延を組み込んだ、本発明に係るレーザ投影ディスプレイの料規図である。

(15)

30

進化するのに伴って段階的に最適化されるかのいずれかが可能である。最後に、このシステムは当然ながら、機械的かつ電気的に可搬であり、光軸が良く、アインメント不良に対して敏感ではない。

[図面の簡単な説明]

[図1] 本発明に係る、電気的に制御可能な電気光学スペックル除虫去変調器とリニア空間光変調器とを有するレーザディスプレイシステムの料規図である。

[図2 a] 本発明に係る、電気的に制御可能な電気光学スペックル除虫去変調器リニア空間光変調器とを有するレーザディスプレイの断面図である。

[図2 b] 図2 a) 図2 b) に示されたレーザディスプレイ光学システムの一部に対する代表構成の断面図である。

[図3] 本発明に使用される電気的に制御可能な電気光学スペックル除虫去変調器を実行する時間/位相選択閾器の第1のバージョンの料規図である。

[図4] 本発明に使用される時間/位相選択変調器の第1のバージョンの断面図である。

[図5 a] 振動性スペックルを表示する光学システムの出力の位相プロファイルを表示する光学

[図5 b] 低減された振動性スペックルを表示する光学

[図5 c] クロストークを表示する、電気的に制御可

能なスペックル除虫去変調器の出力の位相プロファイルを示す図である。

[図6 a] 低減された振動性スペックルを表示する光学

[図6 b] 低減された振動性スペックルを表示する光学

[図7 a] 本発明に係る変調器の効果を、入射する平行化された光線の場合に、影響を受けない波面に示す。

[図7 b] 本発明に係る変調器の効果を、入射する平行化された光線の場合に、影響を受けない波面に示す。

[図7 c] 本発明に係る変調器の効果を、入射する集束する光線の場合に、影響を受けない波面に示す。

[図7 d] 本発明に係る変調器の効果を、入射する集束する光線の場合に、アボートされた波面上に示す。

(16)

31

明に係るレーザディスプレイシステムの断面図である。

[図10] マイクロレーザー光除虫去変調器を使用する、本発明に係るレーザディスプレイシステムの代替の実施形態の断面図である。

[符号の説明]

[10] 液晶ディスプレイ光バルブを使用する、本発

明に係るレーザディスプレイシステムの断面図である。

[24] ビームスプリッタアレー、
24.1 a乃至24.1 eミラー、
24.5ビームレット、
25.0ビームレザービーム、
25.5液体ディスプレイ、
26.0アーブラライザ、
26.5偏光ビームスプリッタ、
27.0偏光アナライザ、
27.5変調された画像を生成する光ビーム、
28.0マイクロメカニカルミラーアレー、
28.5停止部、
29.0開口部、
32.0光、
32.5液面、
33.0弧曲された波面、
34.0入力ファセット、
34.5出力ファセット、
35.0出力ファセット、
37.0ハック材料又は基板、
38.5上部電極、
39.0、39.2、39.5、39.7、39.9、42.0、4
25.43.0、43.5電極、
40.0下部電極、
40.5ハンドフェード、
41.0保証版、
22.0棒状画像、
[図1]

【図9】 液晶ディスプレイ光バルブを使用する、本発明に係るレーザディスプレイシステムの断面図である。

【図10】 マイクロレーザー光除虫去変調器を使用する、本発明に係るレーザディスプレイシステムの代替の実施形態の断面図である。

【図2 a】 本発明に係る、電気的に制御可能な電気光学

スペックル除虫去変調器リニア空間光変調器とを有するレーザディスプレイの断面図である。

【図2 b】 図2 a) 図2 b) に示されたレーザディスプレイ光学

システムの一部に対する代表構成の断面図である。

【図3】 本発明に使用される電気的に制御可能な電

気光学スペックル除虫去変調器を実行する時間/位相選択閾器

の第1のバージョンの料規図である。

【図4】 本発明に使用される時間/位相選択変調器の第1のバージョンの断面図である。

【図5 a】 振動性スペックルを表示する光学システム

の出力の位相プロファイルを表示する光学

[図5 b] 低減された振動性スペックルを表示する光学

[図5 c] クロストークを表示する、電気的に制御可

能なスペックル除虫去変調器の出力の位相プロファイルを示す図である。

【図6 a】 低減された振動性スペックルを表示する光学

[図6 b] 低減された振動性スペックルを表示する光学

[図7 a] 本発明に係る変調器の効果を、入射する集束する光線の場合に、影響を受けない波面に示す。

【図7 b】 本発明に係る変調器の効果を、入射する平行化された光線の場合に、影響を受けない波面に示す。

【図7 c】 本発明に係る変調器の効果を、入射する集束する光線の場合に、アボートされた波面上に示す。

【図7 d】 本発明に係る変調器の効果を、入射する集束する光線の場合に、アボートされた波面上に示す。

【図8】 コヒーレンス長のオーダーの複数の連延を組み込んだ、本発明に係るレーザ投影ディスプレイの料規図である。

【図9】 液晶ディスプレイ、
【図10】 マイクロレーザー光除虫去変調器を使用する、本発明に係るレーザディスプレイシステムの代替の実施形態の断面図である。

【図2 a】 本発明に係る、電気的に制御可能な電気光学

スペックル除虫去変調器リニア空間光変調器とを有するレーザディスプレイの断面図である。

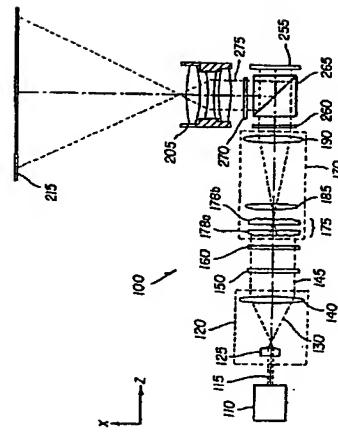
【図2 b】 図2 a) 図2 b) に示されたレーザディスプレイ光学

システムの一部に対する代表構成の断面図である。

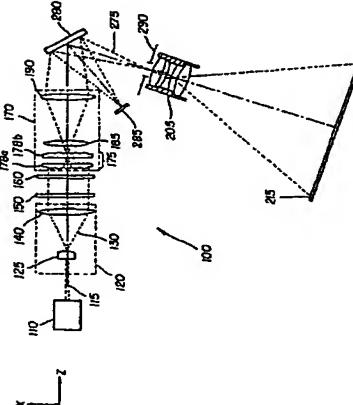
【図3】 本発明に使用される電気的に制御可能な電

気光学スペックル除虫去変調器を実行する時間/位相選択閾器

[図 9]



[図 10]



- 1 -

LASER PROJECTION DISPLAY SYSTEMFIELD OF THE INVENTION

The invention relates to projection display apparatus employing a laser as a light source. More particularly, the invention relates to laser projection display apparatus having means for reducing the appearance of coherence-induced artifacts and speckle in the display.

BACKGROUND OF THE INVENTION

Projection display systems for the display of video images are well-known in the prior art. These systems can take the form of a white light source, most notably a xenon arc lamp, illuminating one or more light valves or spatial light modulators with appropriate color filtering to form the desired image, the image being projected onto a viewing screen.

Lasers have been known to be attractive alternative light sources to lamps for projection displays. One potential advantage is a wider color gamut featuring very saturated colors. Laser illumination offers the potential for simple, low-cost efficient optical systems, providing improved efficiency and higher contrast when paired with some spatial light modulations. One disadvantage of lasers for projection display has been the historical lack of a cost-effective laser source with sufficient power at visible wavelengths. However, such lasers (albeit, still high cost) are now produced by JenOptik and Lumera Lasers, GmbH, and are mode-locked, diode-pumped, solid-state lasers, each with a nonlinear-optical system featuring an optical parametric oscillator (OPO) to simultaneously generate red, green, and blue light. This system has been disclosed by Wallenstein in US Patents 5,828,424, issued October 27, 1998, and 6,233,025, Issued May 15, 2001; and by Nebel in US Patent 6,231,019, issued May 15, 2001. Another example disclosed by Moulton in US Patent 5,740,190, issued April 14, 1998 is developed by Q-Peak and is a Q-switched DPSS laser with an OPO system to simultaneously generate red, green, and blue light.

Spatial light modulators provide another component that enables laser display systems. Examples of two-dimensional spatial light modulators are

-2-

reflective liquid crystal modulators such as the liquid-crystal-on-silicon (LCOS) modulators available from JVC, Three-Five, Aurora, and Philips, and micromirror arrays such as the Digital Light Processing (DLP) chips available from Texas Instruments. Advantages of two-dimensional modulators over one-dimensional array modulators and raster-scanned systems are the absence of scanning required, absence of streak artifacts due to non-uniformities in the modulator array, and immunity to laser noise at frequencies much greater than the frame refresh rate (> 120 Hz). A further advantage of two-dimensional spatial light modulators is the wide tolerance for reduction of the spatial coherence of the illuminating beam. On the other hand, some valuable modulator technologies can be readily fabricated at high fill factor one dimensional devices, although the two dimensional constructions are more limited. Examples of one-dimensional or linear spatial light modulators include the Grating Light Valve (GLV) produced by Silicon Light Machines and described in US Patent 5,311,360 issued May 10, 1994 to Bloom et al.; the conformal grating modulator, described in US Patent 6,307,663 issued October 23, 2001 to Kowarz; and the electro-optic reflective grating modulator described in US Patent 6,084,626 issued July 4, 2000 to Ramanujan et al.

a. Although high power visible lasers offer new opportunities for the design of projection systems, including the possibilities of expanded color gamut and simplified optical designs, laser light is in other ways not optimum for use in image projection systems with spatial light modulators. In particular, lasers are very bright sources, which emit generally coherent light within a very small optical volume (etendue or lagrange). Etendue is the product of the focal spot area and the solid angle of the beam at the focus. Lagrange is the product of the focal spot radius and the numerical aperture. For example, a single mode green wavelength laser with a diffraction-limited beam has a lagrange of about 0.3 μm , which is about 15,000 times smaller than the lagrange for a conventional white light lamp source, such as an arc lamp. With such a small lagrange, lasers can be used very effectively in raster scanning systems, including those for flying spot printers and laser light shows, where a tightly controlled beam is desirable.

20 25 30

On the other hand, in an image projection system, in which an image-bearing medium such as a film or a spatial light modulator is imaged to a screen or a target plane, the high coherence and small lagrange of the laser is ultimately undesirable. In such an imaging system, the lagrange is determined by the linear size of the projected area (size of the spatial light modulator) multiplied by the numerical aperture of the collection lens. The related quantity, etendue, is calculated similarly. In many white light projection systems, the projection lens is quite fast ($f/3$ for example) to collect as much light as possible. Even so, the typical white light lamp source overfills both the light valve and the projection lens, and significant light is lost. For example, in a representative system using a common 0.9° diagonal light valve and an $f/3$ projection lens, the optimum light source would have approximately a 2.0-mm lagrange to provide proper filling without overfill. However, a standard white light lamp, with a typical lagrange of 2–10 mm, is not sufficiently bright and will generally overfill this representative system.

In the case of a laser display system using image area projection (as opposed to raster scanning), the opposite problem arises, the lasers being too bright. Furthermore, it is not desirable to illuminate the spatial light modulator with a coherent source, because of the potential for interference effects, such as fringes, which may overlay the displayed image. Diffraction artifacts can arise from illuminating the grid electrode pattern of a liquid crystal panel, an X-cube with a center discontinuity, or any dust or imperfections on the optical elements with a highly coherent beam of light. Therefore, a reduction of the source brightness (or an increase in the source lagrange) is a necessity for such laser projection systems.

A defined reduction of the source brightness can also provide an important opportunity. The projection display optical system can be designed to optimize and balance the system requirements for resolution, system light efficiency, and system simplicity. By defining the system f-number on the basis of a criterion other than system light efficiency, the specifications on other system components such as the projection lens, color filters, and polarization optics can

-3-

- 4 -

be eased, dramatically reducing system costs compared to some lamp-based projection systems.

While laser sources can be optimized for use in projection display illumination and imaging systems, there is the consequent major disadvantage of speckle to be dealt with. Speckle arises due to the high degree of coherence (both spatial and temporal) inherent in most laser sources. Speckle produces a noise component in the image that appears as a granular structure, which both degrades the actual sharpness of the image and annoys the viewer. As such, the speckle problem, as well as the historical lack of appropriate laser sources, has inhibited the development of marketable laser-based display systems.

The prior art is rich in ways of attempting to reduce speckle. One common approach is to reduce the temporal coherence by broadening the linewidth of the laser light. Other approaches to reducing the temporal coherence are to split the illuminating waveform into beamlets and delay them relative to each other by longer than the coherence time of the laser, see for example US Patent 5,224,200, issued June 29, 1993 to Rasmussen et al. Dynamically varying the speckle pattern by vibrating or dynamically altering the screen is another way of reducing the visibility of the speckle pattern; see, for example, US Patent 5,272,473, issued December 21, 1993 to Thompson et al. Another speckle reduction approach involves coupling the laser light into multimode optical fiber and vibrating the fiber to cause mode-scrambling as described in US Patent 3,588,217, issued June 28, 1971 to Matissen.

Another family of de-speckling solutions uses a diffusing element that is moved or vibrated within the projector system. Typically, this is done at an intermediate image plane, as directed in US Patent 4,935,068, issued July 12, 1977 to Rawson. One disadvantage of this approach is that the diffusion must occur precisely at the image plane or a softening of the image will occur. Also, the projection lens is complicated by the requirement to provide an intermediate image plane. A means of dynamically varying the speckle pattern by dynamically diffusing the laser beam in the illumination path of the device would be preferable. A hologram illumination system utilizing this approach has been

disclosed by van Ligten in US Patent 3,490,827, issued January 20, 1970, in which a diffuser is rotated in the focus of a beam expander. Florence discloses in US Patent 5,513,479, issued May 17, 1994, illuminating a light valve through a rotating diffuser. These approaches have the disadvantage of not being adaptable to uniform efficient illumination of a rectangular spatial light modulator.

Butterworth et al. in US Patent 6,005,722, issued December 21, 1999, disclose a system in which a variable-thickness plate is rotated in the illumination of a light-pipe homogenizer. When used with lasers, though, light pipe homogenizers require either a large numerical aperture or a substantial length to achieve sufficient uniformity, and offer less control with fewer degrees of design freedom than systems designed with fly's eye optics. Therefore, it is harder to control the illumination brightness while producing a uniform illumination in a compact system.

Finally, the laser projection system disclosed by Tramodi in US Patent 6,321,984, issued November 27, 2001, describes a design in which a wavefront phase modulator is used to impart a structured phase profile across the imaging beam. Image data is imparted to the beam by means of a linear GLV type spatial light modulator. This modulator is hunger to an intermediate plane where the wavefront modulator resides, and the intermediate image is subsequently re-imaged to a screen, with the image scanned out through the motion of a galvrometer. This system relies on the fact that a static phase profile, which is provided by the wavefront modulator, is imparted to the line image in the narrow (in-scan) direction. At any instant of time, a single point on the screen will be illuminated by one point on the phase profile. The total intensity at a single point on the screen is the "incoherent" addition of all the phases. Further the phase profile of the wavefront modulator must be such that the interference effects from the high and low phase steps generally cancel each other out. While the system of the '984 patent does provide some speckle reduction, the fact that wavefront modulator is located at an intermediate image plane within the imaging system, rather than within the illumination system, compromises the system performance, as the phase changes are limited by the

- 5 -

constraint of not significantly effecting image quality. Also, as the aforementioned wavefront modulator is a static device, which is constructed as a passive spatially variant phase grating, it provides less control and variation of phase than an active device, and therefore potentially less speckle reduction.

Another disadvantage of using a laser as a light source in an image projector is the susceptibility of interference or the occurrence of diffraction artifacts in the light valve. This is especially true of liquid crystal modulators, wherein the thin-film structure can result in fringes in the image due to non-uniformities in the film layers. Diffraction artifacts arise from illuminating a grid electrode pattern in the light modulator with a highly coherent beam of light.

There is a need therefore for a laser-based display system that uses a spatial light modulator, allows control of the illumination brightness to optimize system design, and exhibits reduced speckle and eliminates coherence artifacts at the spatial light modulator while exhibiting high throughput efficiency.

SUMMARY OF THE INVENTION

The need is met according to the present invention by providing a display apparatus that includes a laser light source for emitting a light beam having a coherence length; a beam expander for expanding the light beam; a spatial light modulator; beam shaping optics for shaping the expanded laser beam to provide uniform illumination of the spatial light modulator; the beam shaping optics including a fly's eye integrator having an array of lenses; a diffuser located in the light beam between the laser light source and the beam shaping optics; an electrically controllable de-speckling modulator for modifying the temporal and spatial phase of the light beam; and a projection lens for producing an image of the spatial light modulator on a distant screen.

ADVANTAGES

The present invention provides for a laser display system in which speckle is reduced in the projected image by means of an electrically controllable de-speckle modulator positioned within the illumination portion of the optical system. This method of de-speckling, using an integrated design within the projector, means that the operational performance of the system does not depend

on external means, such as the vibrating screens, which may vary in application and design from one theatre to another. Additionally, as this de-speckling means functions within the illumination system, rather than within the imaging optics, as is more conventionally done, speckle can be reduced to below perceptible limits without impacting the on screen image quality. Furthermore, by tuning the design and operation of the de-speckle modulator within the illumination system, this system could be optimized either on-the-fly with a feedback system, or progressively, as the laser source and spatial light modulator technologies evolve over time. Finally, this system should be mechanically and electrically robust, light efficient, and insensitive to mis-alignment.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Fig. 1 is a perspective view of the laser display system with an electrically controllable electro-optic de-speckling modulator and a linear spatial light modulator according to the present invention;

Fig. 2a is a cross-sectional view of the laser display with an electrically controlled electro-optic de-speckling modulator and a linear spatial light modulator according to the present invention;

Fig. 2b is a cross-sectional view of an alternate configuration for a portion of the laser display optical system depicted in Fig. 2a;

Fig. 3 is a perspective view of a first version of the electrically controllable electro-optic de-speckling time/phase delay modulator used in the present invention;

Fig. 4 is a cross-sectional view of the first version of the time/phase delay modulator used in the present invention;

Fig. 5a is a representation of the phase profile of the output of an optical system exhibiting visibility speckle;

Fig. 5b is a representation of the phase profile of the output of an optical system that has reduced visibility speckle;

Fig. 5c is a representation of the phase profile of the output of an electrically controllable de-speckling modulator exhibiting cross talk;

Fig. 5d is a chart of the relative phase delay between adjacent modulator sites for an electrically controllable de-speckling modulator with both lateral and time varying phase perturbations;

Figs. 6a and 6b are perspective views of alternative electrically controllable de-speckling modulators that can be used in the laser projection display of the present invention;

Figs. 7a and 7b illustrate the effect of a modulator of the present invention in terms of an unaffected wavefront and an distorted wavefront respectively, in the case of incident collimated light;

Figs. 7c and 7d illustrate the effect of a modulator of the present invention in terms of an unaffected wavefront and an aberrated wavefront respectively, in the case of incident convergent light;

Fig. 8 is a cross-sectional view of an alternative embodiment of the laser display system according to the present invention, incorporating multiple defocus on the order of the coherence length;

Fig. 9 is a cross-sectional view of the laser display system according to the present invention using a liquid crystal display light valve; and

Fig. 10 is a cross-sectional view of an alternative embodiment of the laser display system according to the present invention using a micromirror array light valve.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

Laser display system 100 according to one embodiment of the present invention, is shown in perspective view in Fig. 1, and includes a laser 110 that emits a laser beam 115 of a desired wavelength in either a continuous or pulsed fashion. The laser 110 can be, for example, a solid state laser, a fiber laser, a gas laser, or a semiconductor laser. Laser 110 is preferably a diode-laser-pumped solid state laser including a laser crystal (e.g. Nd:YAG, Nd:YLF, Nd:YVO₄, or Yb:YAG) that emits infrared pulses of light and includes nonlinear optics (typically optical parametric oscillators (OPOs)) that convert the infrared pulses of light from the laser crystal into red, green, and blue pulses of light. Mode-locked RGB lasers suitable for laser 110 are manufactured by Lumera

Laser GmbH and JenOptik. Another suitable laser is the Q-switched RGB laser developed by Q-Peak. For simplicity, the laser display system 100 is depicted for one wavelength only. These lasers generally produce high quality single mode beams, which have moderate laser line widths (<1.5 nm), small source height range values (<0.5 μm), and moderately long coherence lengths C₁ (0.1-10.0 nm).

Laser display system 100 is shown in cross-sectional view in Fig. 2a, to clarify some aspects of the design not readily shown in the perspective view of Fig. 1. Beam expansion optics 120 expand the laser beam to produce a collimated beam 145 with the necessary diameter to nominally fill the aperture of beam-shaping optics 170. The beam expansion optics 120 can be, for example, an afocal pair of lenses, as is well-known to one skilled in the art of optics.

Alternatively, for example, a three element zooming Galilean or Keplerian beam expander could be used. The afocal pair beam expansion optics 120 comprises a diverging lens 125 and a collimating lens 140. The diverging lens 125 can be a

single lens or a compound lens such as a microscope objective, and transforms the light beam 115 into a diverging beam 130. The collimating lens 140 can be a single or a compound lens, and transforms the diverging beam 130 into a collimated beam 145. This collimated beam 145 interacts with diffrues 150 and an electrically controllable de-speckling modulator 160, and then is further altered

by beam shaping optics 170.

As the laser display system of Figs. 1 and 2a uses a linear spatial light modulator 200, which is long in the x direction, and narrow in the y-direction, the beam expansion optics 120 and beam shaping optics 170 are constructed anamorphically, and generally use an appropriate arrangement of cylindrical lenses. In particular, it is typically desirable to flood illuminate linear

spatial light modulator 200 with a long narrow line of uniform telecentrically incident light. For example, the illuminating light beam may have a uniform light profile extending 25-75 mm in the array (x) direction), whereas, the narrow cross array direction light only illuminates a 20-100 μm width, typically with either a uniform or Gaussian beam profile. In the simplified case of the laser display system of Fig. 1, the cross array optics, which condense or focus the beam of light

- 10 -

onto linear spatial light modulator 200 are shown for simplicity as a single lens, cross array condenser 195.

Thus, in the case of the Fig. 1 system, for a laser projection display using a linear spatial light modulator 200, the beam expansion optics 120 work in the array direction only, and are thus anamorphic, providing beam expansion in the direction of the linear light valve (x-direction). In this case, the beam-shaping optics 180 are also anamorphic (cylindrical cross sections), with optical power in the x-direction, and flat surfaces in the y-direction (except for cross array condenser 195). Beam shaping optics 180 includes a fly's eye integrator 175.

The fly's eye integrator 175 provides efficient, uniform illumination over the area of a linear spatial light modulator 200. The fly's eye integrator 175 includes a first lenslet array 178a and a second lenslet array 178b, which are typically identical. The first and second lenslet arrays 178a and 178b include a plurality of lenslets with cylindrical surfaces, arrayed in a one-dimensional pattern. The first lenslet array 178a is separated from the first lenslet array 178b by approximately the focal length of the lenslets on the first lenslet array 178a, such that each lenslet in the first lenslet array 178a focuses light into the corresponding lenslet in the second lenslet array 178b. Other designs are possible in which the first and second lenslet arrays 178a and 178b are different, but are matched to provide the desired illumination.

Alternatively, the first and second lenslet arrays 178a and 178b can be integrated in a single block of glass or plastic. Also, the invention can be accomplished without the use of the second lenslet array 178b, especially if a small diffusion angle is used.

The beam-shaping optics 180 also includes a condenser lens 185 and a field lens 190 located behind the fly's eye integrator 175. The second lenslet array 178b, works in combination with the condenser lens 185, to image the lenslets of first lenslet array 178a in overlapping fashion to provide an area of uniform illumination at the linear spatial light modulator 200. Field lens 190 provides telecentric illumination of the linear spatial light modulator 200 in order to decenterize the system to defocus errors and to minimize the total numerical

aperture of the illumination. Field lens 190 nominally has a focal length equal to the lenslet focal length multiplied by the magnification of the illumination image. The spacing between the field lens 190 and the condenser lens 185 should likewise be generally equal to the focal length of the condenser lens 185 in order to make the illumination telecentric. The focal lengths of the lenslet arrays and condenser lens 185 are typically chosen to provide a sufficient working distance near the linear spatial light modulator 200 that the opto-mechanics can be designed with relative ease. While individual lenses may be as small as 100 μm in width, or as large as ~8 mm in width, the individual lenses are typically 1-5 mm wide. The range of available lenslet sizes does depend on the manufacturing technologies used.

The linear spatial light modulator 100 generates a single line 220 of the image at any moment in time. A scanner such as a galvanometer mirror 210, a spinning polygon, or a rotating prism sweeps the image lines across the screen to form a two-dimensional area image 225 on the screen 215. In the case of the laser display system 100 depicted in Figs. 1 and 2a, the system is configured as a post-objective scanner, with projection lens 203 located prior to galvanometer mirror 210. As an example, if linear spatial light modulator 100 has an active area 40 mm long, and the desired image size on screen 215 is 30 ft. wide, then projection lens 205 would operate with a magnification of ~230x.

A variety of different technologies can be used for linear spatial light modulator 200. As simplistically depicted in Figs. 1 and 2a, this device is a transmissive modulator, which encodes the image data in the light beam by modulating the light in some way. This device, for example, could be an electro-optic modulator array made from PZT, which rotates the polarization of the incident light on a per pixel basis. In that case, a polarization beam splitting prism (not shown) would be located somewhere between linear spatial light modulator 200 and galvanometer mirror 210, so as to separate the modulated and un-modulated portions of the light beam. Alternatively, the linear spatial light modulator 200 could be a transmissive acousto-optical array device, much like the device discussed in US Patent 5,309,178, issued May 3, 1994 to Gross which

- 11 -

- 12 -

imparts a phase profile to the incident beam on a per pixel basis. In that case, a Schlieren type optical system can be constructed by placing a spatial filter (not shown) at Fourier plane internal to projection lens 205. Reflective grating modulator arrays can also be used, such as grating light valve (GLV) described in US Patent 5,311,260, issued May 10, 1994 to Bloom et al.; a conformal grating device as described in US Patent 6,307,663, issued October 23, 2001 to Kowarz; or an electro-optic grating as described in US 6,084,626, issued July 4, 2000 to Ramanujan et al. In these cases, the laser projection display 110 must also be modified to deflect the light beam down onto the modulator and return the reflected beam into the system (such modifications are not shown in Figs. 1 & 2a but are within the ordinary skill in the art of optical systems design).

A diffuser 150, is disposed between the laser 110 and the beam-shaping optics 180, to modify the brightness or etendue of the laser light to match the imaging requirements of the projection system. In the case of the laser display system 100 of Figs. 1 and 2a, which has a linear spatial light modulator 200, diffuser 150 normally is also one-dimensional. That is, diffuser 150 only diffuses light along the length of the light valve array (x direction in the figure), while leaving the beam nominally unaltered in the y-direction. The one-dimensional diffuser 150 produces just enough diffusion in order to efficiently illuminate the light valve and not enough to introduce flare light at the image. Exemplary one dimensional diffusers include diffractive lens generators, available from MEMS Optical, and elliptical holographic diffusers, available from Physical Optics Corp.

In particular, diffuser 150 is employed within the illumination optical system of the laser projection display 100 in order to reduce the source brightness (increasing lagrange). The diffuser angle θ_0 and the location of the diffuser 150 are selected accordingly. The lagrange of the system will be dominated by the product of the illumination beam profile half-width on the diffuser 150 and the half-angle of the light scattered by the diffuser 150. The desired system lagrange may be inferred from the specified image resolution, which in turn depends on the resolution of the linear spatial light modulator 200

and the imaging properties of the projection lens 205. By comparison, in the typical lamp based projector, the system lagrange will be determined by the need to maximize system light efficiency. As a result, the projection lens for the laser display may have an f-number in the f/7 to f/1.5 range instead of the f/3 required by the prior art lamp based systems. The actual design target for the lens f-number will depend on the imaging criteria specified to determine the quality of the lens (for example, a Rayleigh or Sparrow imaging criteria could be applied).

As an example, the combination of a 40 mm long linear spatial light modulator 200 and an f/10 projection lens 205, will specify a target lagrange of the projection system of ~1.0 mm in the X-direction. In this example, the diffuser 150 can have a half angle $\theta_0 = 5.0^\circ$ and be placed within the illumination system such that it is illuminated by a collimated beam with 22-mm diameter. In this example, the lagrange of the laser light will be reduced from ~0.3 μm to ~1.0 mm, and a specular f/10 beam could be provided to spatial light modulator 200, assuming the intervening optical system has the proper magnification and lens structure. Thus, through the selection of the appropriate diffuser 150, the lagrange or brightness of the effective laser light source can be defined to match the needs of the optical system, thereby boosting system light efficiency and simplifying the optical design, as compared to a traditional lamp based system.

While diffuser 150 does reduce the coherence of the laser light to some extent, the laser light will remain sufficiently coherent to impart speckle into the outgoing beam. Unless this speckle is further reduced, it will be present at both the linear spatial light modulator 200 and the screen 215 as an undesired random variation in light intensity. However, the fly's eye integrator 175, which primarily provides uniform illumination to the linear spatial light modulator 200, also amplifies the effect of the diffuser 150 on de-speckling and artifact removal. This comes about by overlapping many contributions from the diffuser 150 on the linear spatial light modulator 200 and therefore in the image on the screen 215. Although the resulting speckle within the illuminating light at the linear spatial light modulator 200 and screen 215 is significantly reduced in size and magnitude compared to a similar system without the fly's eye integrator 175, this remaining

- 13 -

- 14 -

-14-

speckle can still be objectionable in critical applications. A projection display, which combines a very high to screen magnification, a high gain screen, and observers viewing the screen near the human visual acuity limits, is such a critical application.

A primary purpose of the present invention is to provide a laser projection display that employs a combination of internal means to de-speckle the output of a pixelated optical system. Speckle in such a system can be reduced when adjacent pixels or groups of pixels are not perfectly in phase with one another either spatially or temporally. A locally uniform phase profile, which extends across a group of pixels, and which can exhibit speckle is shown in Fig. 5a. The present invention uses means (including electrically controllable de-speckle modulator 160) to alter the phase profile shown in Fig. 5a across an extent of the light beam such that it more closely resembles the profile shown in Fig. 5b. Fig. 5b shows a more random phase profile in which at any given instant in time adjacent regions along the x-direction see different phase profiles. Also effective, would be a geometry that provides a periodic or quasi-periodic profile as shown in Fig. 5c, which can for example originate with crosstalk between adjacent modulator sites. While periodic or quasi-periodic phase profiles reduce speckle, other undesired artifacts may be introduced by such periodic phase structures. For that reason, the preferred mode of operation according to the present invention is one creating a phase profile as seen in Fig. 5b. In a preferred embodiment of the present invention, the laser projection display 100 includes an electrically controllable electro-optic de-speckling modulator 160, having a series of modulator sites that receive control signals to provide localized random phase changes to the incident light, thereby helping to reduce speckle visibility in the images displayed by the system. It should be noted that there need not be a one to one correspondence between the pixels of the spatial light modulator in the optical system and the modulator sites of the electrically controllable de-speckling modulator 160. In fact the optical system need not be pixelated at all, and for example could use an analog medium such as film for the image modulation..

-15-

The electrically controllable de-speckling modulator 160 used in the laser display 100 of the present invention provides enough variation of phase within the light beam that the viewer or viewing system receives a reduced speckle image when the modulator is used in conjunction with an appropriate optical system. By independently electrically addressing the modulator sites, each site in the electrically controllable de-speckling modulator 160 can introduce phase delays in the light beam with respect to the neighboring sites. A different voltage or voltage duration is applied to each site (or group of sites), thus producing a phase delay corresponding to as much as several waves of propagation in the light. This variation to the phase profile significantly reduces the appearance of speckle. By picking a voltage distribution that spatially provides a perturbed phase front and varying it in time, both spatial and temporal phase variation is introduced into the light beam.

The electrically controllable de-speckling modulator 160 is included in the optical system of the laser projection display in such a manner that its' controllable spatially varying random phase profiles translate into a reduction of speckle. The electrically controllable de-speckling modulator 160 reduces speckle through a reduction of coherence, or a randomization of phase in a light beam spatially and/or temporally. The inclusion of the electrically controllable de-speckling modulator 160 in the optical system serves to effectively scramble the phase profile of a light beam by varying the refractive index profile in the medium through which light travels.

Referring to Fig. 3, there is shown a first example of an electrically controllable de-speckling modulator 160 of a type that could be used in the laser projection display of the present invention. The electrically controllable de-speckling modulator 160 is a patterned device including a collection of addressable modulator sites that produce controlled time or phase delays with respect to adjacent pixels in accordance with signals, or data provided to individual modulator sites. Commonly-assigned co-pending USN 09/974,619, filed August 8, 2001, by Ramanujam et al., describes the design and operation of de-speckling modulators in greater detail than provided here.

- 16 -

The electrically controllable de-speckling modulator 160 comprises a bulk electro-optic substrate 370 with a series of individual modulator sites 350, 355, 360, etc. Each modulator site 350 has a delay region 360 through which a beam of light 320 encounters a time or phase delay in relation to the electric field applied between top electrode 385 and bottom electrode 400. Beam of light 320 enters bulk electro-optic substrate 370 through an input facet 340, after which it traverses the modulator, and exits through output facet 345.

The choices of electro optic materials from which to build the

electrically controllable de-speckling modulator are numerous and include

10 Lithium niobate, lithium tantalate and PLZT. For the sake of simplicity, further

discussion of the parameters for the electrically controllable de-speckling

modulator will center around the use of lithium tantalate illuminated at 633 nm,

but it should be understood the geometry is applicable to a variety of materials and

illumination wavelengths. If a different material is employed, care must be taken

to ensure the correct axes are employed. For example, use of PLZT in such a

device design can produce orders of magnitude greater phase delay along a

modulator site due to the larger electro-optic coefficient. However, the crystal

must be oriented in a manner such that the applied electric field interacts with the

optical field through the appropriate axes of the crystal.

In the case of lithium tantalate, the geometry represented here is shown as y-cut, meaning that light propagates along the y-direction and electric field is applied along the z-direction. For best results, the light travelling through

the modulator is polarized along the x-direction (transverse direction). For the

purposes of the electrically controllable de-speckling modulator discussions, light

propagation direction will be referred to as the x-axis so that there is no confusion

between the crystal axis and the propagation axis. (Note : Figs. 3, 4, and 6 use the standard coordinate system for electro-optic crystals, whereas Figs. 1, 2, 8, 9, and

10 use a typical optical coordinate system, with light propagation along the z-

axis.) Other cuts and geometries of the crystal may be employed, but in this first

30 example, y-cut is optimal.

Fig. 4 shows a cross section of the electrically controllable de-speckling modulator 160 with a beam of light 320 propagating along the y-axis of the modulator. It may be advantageous for the input and output facets of the modulator to be antireflection coated. Furthermore, since the device effectively perturbs phase fronts, it should be recognized that input light to the modulator can come from a variety of sources simultaneously. The electrically controllable de-speckling modulator 160 may operate on several wavelengths and angular extents simultaneously.

A single modulator site can be defined as the region between top 10 and bottom electrodes 385 and 400. A ray of light, as defined along the x-direction of Fig. 3 propagates along the crystal between top and bottom electrodes 385 and 400. Light passing through that region acquires a phase change $\Delta\phi$ defined as follows:

$$\Delta\phi = (\pi/\lambda) n^3 \alpha_3 l V/d \quad (1)$$

As is seen in Eq. 1, the phase change $\Delta\phi$ is a function of applied voltage V, length of propagation l, distance between electrodes d, wavelength of light λ , refractive index n, and the α_3 coefficient for y-cut Lithium tantalate. Given reasonable fabrication parameters such as propagation lengths from 5-50 mm, thickness of 500 μm , and illumination wavelength in the red spectrum, phase 15 delay of as much as several wavelengths can be generated for operating voltages between 0V and 160V. Understandably, all the input parameters can be altered to render more or less delay along a given channel or modulator site. All delays have been represented by distance or number of waves. It is equivalent to discuss delay as a time delay given by the distance of delay divided by the propagation 20 velocity of the light in the medium.

Referring back to Fig. 3, a plurality of modulator sites 350, 355, 360 is defined by several regions such as the one shown in cross section in Fig. 4. A top electrode 385 and bottom electrode 400 defines each modulator site. It may be useful on fabrication to have a common unpatterned electrode on one side of the device as opposed to patterning both the top and bottom of the device. This allows modulation through differential voltage applied to the electrodes on one

- 17 -

side of the device. The de-speckling modulator is electrically controllable in the sense that the device consists of a series of modulator sites which are addressed by a patterned electrode structure, and which can respond individually or in groups, to pre-determined applied control signals. Each modulator site can be operated independently through means of different applied voltages, different address times, or combinations of both. This electrically controllable de-speckling modulator 160 can be used as either an analog voltage driven modulator, a pulse width modulated device, or a combination of both. The control signals applied to the de-speckling modulator could also be derived from a feed-back loop, which monitored the reduction of speckle visibility or contrast, and then adjusted to drive signals to maintain or further reduce speckle magnitude. The width of any given electrode along the x-direction can be anywhere from sub-wavelength in width to literally millimeters in width.

It may be of use to periodically switch the polarities of the top and bottom electrodes, or to introduce a blanking pulse. Such bi-polar operation allows dissipation of space charge in the bulk electro-optic substrate 370. Furthermore, because the operational voltages can be quite high and because the optical field may not be well contained, the electrodes may be patterned with material such as SiO₂ under the electrode to act as a buffer layer 405 (see Fig. 4). Also, an overcoat 410 of acrylic or other insulating material may be applied to prevent arcing in air.

The device structure provided for the electrically controllable electro-optic de-speckling modulator 160 of Figs. 3 and 4 is only one example of this type of de-speckling modulator that could be used in a laser projection display. A second such example is shown in cross section in Fig. 6A, where each modulator site consists of a series of electrodes 410-435 spaced along the y-axis of the crystal. A modulator site can be activated using all or a subset of the electrodes, for instance electrodes 410, 425, and 430, thus providing variable delay even with a single drive voltage. Each electrode (which have distinct lengths) can be driven such that the applied voltage in conjunction with the electrode length can give different known fractions of wavelength delay. For

instance, the first electrode may produce a 1/8 wavelength delay, the second 1/16, the third 1/32, and so forth. The applied voltage can be adjusted such that the same length of electrode renders the same number of wavelengths delay for different wavelengths of light. Additionally the electrodes can be modulated in time individually within each modulator site thus further randomizing the phase.

Another example of an electrically controllable de-speckling modulator useful in a laser projection display, is shown in Fig. 6B. The modulator has added complexity, but greater control as compared to that shown in Fig. 6A. Fig. 6B has different local electrode geometries between adjacent modulator sites.

- 5 By spacing electrodes 390, 392, 395 "within" a modulator site (350 for example) and staggering electrodes 390, 397, 399 "between" adjacent nearby modulator sites, the modulator is less prone to electrical cross talk effects shown in Fig. 5C. Similar results can be achieved by allowing space between electrodes both between adjacent modulator sites 350, 355, 360 as well as within a single site 350.
- 10 On the other hand, as the electrically controllable de-speckling modulator is fundamentally a phase scrambler, intended to randomly alter the phase fronts of the incident light in localized areas, the introduction of cross talk between modulator sites can help the intended result by introducing further phase variations. In the event that the designer wishes to contain cross talk effects, the electrodes will need sufficient gaps between them to prevent cross talk. It should be understood that there are other exemplary structures for the electrically controllable de-speckling spatial light modulator, beyond those depicted in Figs. 1, 6A and 6B, which could be conceived of, and which could be used within a laser
- 15 projection display 100 according to the present invention.

Because the appearance of speckle can be reduced both by spatial variations to the lateral phase profile or by time variations between adjacent regions, the operation of the electrically controllable de-speckling modulator can be modified to accommodate both. In the first case, a lateral electric field distribution is established as a function of address to the electrodes. This distribution, in turn, defines a lateral phase perturbation. In the case of temporal variation, the same field profile may be employed at different sites. However, in

- 20 -

time, the relative fields are varied such that adjacent regions are out of phase with each other. Ideally, a combination of both methods of operation, as shown in Fig. 5d, provides the best result.

An electrically controllable de-speckling modulator 160 can function to distort or scramble the phase fronts of the incident light.

Conceptually, this effect is illustrated in Figs. 7a, zero drive voltage is applied to the modulator 160, and with planar parallel wave fronts 325 directed at normal incidence onto the modulator 160. As illustrated in Fig. 7a, zero drive voltage is applied to the modulator 160, and the wave front 325 emerge unaltered. As illustrated in Fig. 7b, voltages are applied to the modulator sites 350, and distorted wave fronts 330 emerge from the device. Figs. 7c and 7d illustrate the equivalent cases, where an electrically controllable de-speckling modulator 160 is located in convergent space within an optical system. It should be understood that these wave front distortions are exaggerated in extent and only representative of the general concepts. They are not necessarily depictions of wave fronts located 12 apart.

While an electrically controllable de-speckling modulator 160 can distort wavefronts by providing spatial and temporal phase perturbations, the ability of the modulator to affect the appearance of speckle also depends on the design of the system in which it is used. The present invention predominantly considers the case where the electrically controllable de-speckling modulator provides a small delay along a modulator site compared to the coherence length ($\Delta\phi \ll C_s$) of the light source. Indeed, lasers can have coherence lengths ranging from fractions of a mm to several meters in extent (0.1-5.0 mm for Red/Green/Blue optical parametric oscillator type lasers), whereas, the lithium tantalate based de-speckle modulator will only provide a few waves of delay. Thus, as previously stated, this device can be used to cause time variant wave front distortions or aberrations, but not to directly alter the spatial or temporal coherence in an appreciable way. Fortunately, the time and space variable phase can be used to vary or average the speckle within the projected image, thereby reducing the perceptibility of the speckle if the variations are more rapid than the response time of the human eye.

On the other hand, an electrically controllable de-speckling modulator could be used in a system where the provided phase delay is on the same order as the coherence length of the light source ($\Delta\phi \sim C_s$). For example, the typical white light source, such as an arc lamp, emits light with a coherence length C_s and with only several wavelengths in extent, which is comparable to the phase delay from the lithium tantalate based device. Alternatively, an electrically controllable de-speckling modulator with about 1.0 mm of delay, could be paired with a small coherence length laser (such as an OPO type laser), to again basically match delay and coherence length ($\Delta\phi \sim C_s$). In such cases, the electrically controllable de-speckling modulator can be used in various ways within the optical system to alter both the spatial and temporal coherence directly. If the controllable phase delay significantly exceeds the coherence length of the light from the light source ($\Delta\phi \gg C_s$), even more dramatic effects can be realized with an electrically controllable de-speckling modulator 160.

The effectiveness of the electrically controllable de-speckling modulator 160 in reducing speckle visibility depends both on the structure and performance of the specific device (Figs. 3, 6a and 6b show such exemplary devices) and the manner in which it is used within a laser projection display 100. In particular, an electrically controllable de-speckling modulator 160 may be located prior to the first lenslet array 178a of fly's eye integrator 175 as depicted in Figs. 1 and 2a, or within fly's eye integrator 175 as depicted in Fig. 2b, or similarly after the second lenslet array 178b of fly's eye integrator 175. In the typical fly's eye integrator based optical system used to illuminate a one dimensional device (spatial light modulator 200), the number (N) of lenslets in each lenslet array (178a and 178b) is relatively small, with ~6-20 lenslets providing adequate light uniformity. By comparison, the typical spatial light modulator 200, will be an array comprising a relatively high number (M) of tightly packed pixels, with between 256 to 4096 pixels serving most applications. The number (P) of modulator sites in the electrically controllable de-speckling modulator 160 of Figs. 1 and 2 is determined by their effectiveness in reducing speckle visibility,

- 21 -

-22-

and is not tightly dependent on either the number (N) of lenslets or the number (M) of modulator pixels.

Assuming that electrically controllable de-speckling modulator 160 is operating under the condition that the phase change or delay it introduces is small relative to the coherence length ($\Delta\phi \ll C_0$) of the laser light beam (a few wavelengths vs. a few mm), then electrically controllable de-speckling modulator 160 can be used to locally alter the wavefronts of the light beams, as in Figs. 7a-d. In this case, there will be many modulator sites per lenslet ($P \gg N$). In order to modify (distort) the wavefronts of imaging beams of lights within the illumination system, electrically controllable de-speckling modulator 160 is used in the far field of the imaged plane (or in one of its conjugate planes). Thus, in the Fig. 1 system, where electrically controllable de-speckling modulator 160 is located prior to the first lenslet array 178a, and where this lenslet array is image conjugate to the spatial light modulator 200, electrically controllable de-speckling modulator 160 is minimally offset from the lenslet array by more than the depth of focus (DOF), and is optimally in the far field of this conjugate plane (approximately $>10^3$ DOF).

Similarly, as shown in Fig. 2b, if electrically controllable de-speckling modulator 160 is located between first lenslet array 178a and second lenslet array 178b, and in proximity to second lenslet array 178b, then electrically controllable de-speckling modulator 160 is by definition located in the far field of the first lenslet array, and can therefore phase alter the wavefront structure. As the optical system can deliberately be designed to have the light underfill the lenslets of the second lenslet array 178b, the required fill factor for the electrically controllable de-speckling modulator 160 can be reduced, which may permit alternative and less demanding electrode addressing schemes to the modulator sites. Similarly, electrically controllable de-speckling modulator 160 could be located after second lenslet array 178b, and most likely between second lenslet array 178b and condenser lens 185. For these various cases, the wavefront aberrations induced by electrically controllable de-speckling modulator 160 mostly effect the localized interference of wavefronts which contributes to the

creation of speckle. This configuration may also effect the quality of the imaging provided by the beam shaping optics, thereby causing some softness at the edges of the illuminated area.

Alternatively, for this same case where the electrically controllable de-speckling modulator 160 provides phase changes or delays which are small relative to the coherence length ($\Delta\phi \ll C_0$) of the laser light, the electrically controllable de-speckling modulator can be positioned within the optical system to act more like a diffuser which scatters or diffracts light, rather than altering the imaging wavefronts within the illumination system. In this case, the number of modulator sites is large compared to the number of lenslets ($P \gg N$), and the electrically controllable de-speckling modulator 160 is located in the far field of the imaging plane within the illumination system. That is, electrically controllable de-speckling modulator 160 is nominally located just before or just after first lenslet array 178a, and should be aximinally within the near field ($<10^3$ DOF) of the conjugate image plane (conjugate to the image plane at spatial light modulator 200).

If, on the other hand, it is assumed that electrically controllable de-speckling modulator 160 is operating under the condition that the phase change or delay it introduces is on the same order as the coherence length ($\Delta\phi \sim C_0$) of the light from the laser source 110, then the device can directly effect the relative temporal coherence of the light for one light beam relative to another. In this case, if the number of modulator sites is identical to the number of lenslets ($P=N$), and the modulator sites are aligned to correspond to given lenslet of lenslet array 178a, the temporal coherence is altered for the light beam transiting a given lenslet and modulator site, relative to the others. Each beam will create its own speckle pattern within the illuminated area at spatial light modulator 200, but the ensemble speckle will vary in time as the modulator sites are randomly driven. In this case, electrically controllable de-speckling modulator 160 can be located prior to first lenslet array 178a, but without any strict far field or near field positional restriction. Likewise, electrically controllable de-speckling modulator 160 can be located between the first lenslet array 178a and second lenslet array 178b, or just

-23-

-24-

after second lenslet array 178b. This configuration would work even better if the phase delay is significantly ($2x\text{-}3x$ or more) larger than the coherence length ($\Delta\phi > C_L$).

Alternatively, an electrically controllable de-speckling modulator 160, operating under the condition that the phase change or delay it introduces is on the same order as the coherence length ($\Delta\phi \sim C_L$) of the light from the laser source 110, such that the electrically controllable de-speckling modulator can directly affect the relative temporal coherence of the transiting light, can be provided within laser display 100 with a number (P) of modulator sites greater than the number (N) of lenslets ($P > N$). In this case, the electrically controllable de-speckling modulator can be used to randomize the coherence spatially across each lenslet array, and thus across the spatial light modulator 200 and screen 215. In this example, electrically controllable de-speckling modulator 160 is not used to alter the wavefronts with small phase aberrations, but to alter the coherence of one spatial area relative to another, and effectively synthesize a nearly incoherent source. If the number of modulator sites is modestly greater than the number of lenslets ($P=8\text{-}N$ for example), the electrically controllable de-speckling modulator 160 can be located prior to first lenslet array 178a, but without any strict far field or near field positional restriction (as long as the modulator sites are not small enough to diffract, scatter, or diffuse appreciable light). In this case, the beam of light passing through each lenslet is split into relatively large adjacent regions, with the temporal coherence varying amongst the regions. However, if there are many modulator sites relative to the number of lenslets ($P > N$), such that the electrically controllable de-speckling modulator 160 functions more like a diffuser, then de-speckling modulator 160 should be located in the near field of first lenslet array 178a. In that case, electrically controllable de-speckling modulator 160 may be located just before or just after lenslet array 178a, and should be normally within the near field ($<10^{\text{-}}\text{DOF}$) of the conjugate image plane (conjugate to the image plane at spatial light modulator 200). These configurations would work even better if the phase delays provided by de-speckle

modulator 160 are significantly ($2x\text{-}3x$ or more) larger than the coherence length ($\Delta\phi > C_L$).

In summary, laser display system 100 is designed to provide a projected image on a distant screen 215 that is free from perceptible speckle, by using a combination of speckle reduction/de-correlation techniques. The use of diffuser 150 not only re-defines the effective lagrange or etendue of the light, but also breaks the coherent incident beam into a multitude of smaller, less spatially coherent wavefronts. Thus use of a light integrating system, such as fly's eye integrator 175, which divides the light into beamlets which are reimaged to create a uniform area of illumination, also provides further speckle reduction by overlapping the many local contributions from the diffuser across the screen.

Finally, the use of electrically controllable de-speckling modulator 160 provides means to disrupt the local phase of portions of the illuminating light, relative to other portions of the illuminating light, thereby altering the local spatial and/or temporal coherence relationships. This allows either the local wavefront phase structures, the temporal coherence relationships between wavefronts, or the temporal coherence across spatial areas to be altered. Furthermore, it should be noted that speckle reduction in laser display 100 could have diffuser 150 attached to a motion mechanism, which imparts a linear, rotary, or random motion to the diffuser, such that the diffuser 150 moves by at least the characteristic feature size of the diffusing surface. The frequency of the motion must be faster than the flicker frequency (>40 Hz). Speckle visibility is then further reduced by decorrelating the speckle pattern by time averaging the position and magnitude of the speckle in local areas across the full spatial extent of the image.

Depending on its construction and operation, the electrically controllable de-speckling modulator 160 may impart sufficient phase perturbations, such as diffraction or scatter, to the light beam to actually cause the source lagrange or etendue to be measurably increased. In the case of projection systems designed with a linear spatial light modulator 200 requiring a relatively coherent illumination in the array direction, a small change in source lagrange provided by the electrically controllable de-speckling modulator 160 may be

-25-

-26-

sufficient to meet the imaging requirements of the projection system. In that case, the laser display system 100 may be constructed without a diffuser 150.

It also should be understood that the cross array optics in Figs. 1 and 2a show a simplified optical system with just one cylindrical lens, cross array condenser 195. Cross array condenser 195 conditions the light beam in the cross array direction, to optimize it for interaction with linear spatial light modulator 200. It should be understood that multiple cylindrical lens elements could be used for this beam conditioning. It should also be understood that some of the lens elements within laser projection system 100 prior to linear spatial light modulator 200 could be spherical, and shape both the array and cross array beams. Likewise, projection lens 205 could also include cylindrical lenses (not shown), to provide further control of either the array direction or cross array direction spot formation at the screen 215. Similarly, it should be understood that cross array optics (not shown) could be provided prior to electrically controllable de-speckling modulator 160 to pre-condition the light beam so as to optimize the interaction of the light through the electrically controllable de-speckling modulator. In that case, cross array condenser 195 or equivalent would adapt the cross array light beam exiting electrically controllable de-speckling modulator 160 to optimize it for input to linear spatial light modulator 200. It should also be understood that attenuate beam homogenizing optics to the fly's eye integrator could be used. In particular, an integrating hornlens/desopeckle, much as described in (Moulin patent), could be used within an alternate design for the beam shaping optics 170, and provide both uniform illumination, as well as a contributory effect to speckle reduction in cooperation with diffuser 150 and electrically controllable de-speckling modulator 160.

An alternate construction for laser projection display 100 is shown in Fig. 8, in which a beamsplitter array 240 is used to provide optical path delay differences so as to reduce the coherence of the composite laser beam 250. Beamsplitter array 240 comprises an arrangement of (R) partially reflecting mirrors, which create a series of beamlets 245 with optical path length differences (Δd) between adjacent beamlets 245 that are on the order of the coherence length

-27-

of the laser or larger. Optimally the optical path differences (Δd) are on the same order of size as the coherence length C_s of the laser 110. The mirrors of beamsplitter array 240 would be partially transmitting, and partially reflecting, with the reflectivity increasing progressively, from the first mirror (241a) to the last mirror (241e). Although beamsplitter array 240 is illustrated as an array of mirrors, prism arrays and other structures could be used. Beamsplitter array 240 effectively works as a beam expander, using the R beamlets to create a composite laser beam 250. However, as the R beamlets travel different optical path lengths ($\Delta d_1, \Delta d_2, \Delta d_3, \text{etc.} \dots$) which are comparable to the coherence length C_s , the temporal coherence of the light will vary across the spatial extent of composite laser beam 250. Ideally, each of the R beamlets 245 are temporally incoherent relative to the others. However, the scheme is still useful even if the temporal coherence changes more slowly, such that groups of beamlets 245 are coherent to each other, as these groupings will tend to change randomly in time, as the coherent emissive state of the laser 110 fluctuates in time.

As the typical laser beam 115 has a non-uniform light intensity profile (a Gaussian profile being common), each of the beamlets 245 will also be non-uniform, and composite laser beam 250 will be non-uniform as well. As with the Fig. 1 system, diffuser 150 is inserted to change the effective source lagrange or extend to match the imaging requirements. Diffuser 150 also helps to make composite laser beam 250 somewhat more uniform and less coherent. Again as previously, a fly's eye integrator 175 is used to both improve the illumination uniformity and reduce speckle visibility at spatial light modulator 200. However, in this case, first lenslet array 178a is designed to have each beamlet 245 illuminate M lenslets, so that each beamlet 245 is transformed into uniform illumination at the light valve. Thus there are a total of at least $M \times R$ lenslets in each lenslet array 178a and 178b. The effect at the screen 215 is that each of the R lenslets will produce their own fine speckle pattern dictated by the diffuser, the M fly's eye lenslet pairs used by a given beam, and the screen. The M \times R specific patterns will add incoherently to produce an overall averaging even without the use of electrically controllable de-speckling modulator 160 or the

motion of diffuser 190. Although in some less critical applications, this degree of speckle reduction may be sufficient, for critical applications, laser display system 100 of Fig. 8 is further improved with the addition of electrically controllable de-speckling modulator 160. As the temporal coherence within composite laser beam 240 is already significantly variable, electrically controllable de-speckling modulator 160 can be used to alter the phase wavefronts within the beamlets 245, assuming the applied phase change is small relative to the coherence length ($\Delta\phi \ll C_0$). As with the prior discussion, electrically controllable de-speckling modulator 160 can be positioned (see Fig. 8) within laser display 100 in advance of first lenslet array 170a, such that it is in the far field (well outside the depth of focus (DOF)) of the conjugate image plane of beam shaping optics 170. Similarly, as previously, electrically controllable de-speckling modulator 160 can be located in the downstream far field of the conjugate image plane, in proximity to second lenslet array 170b, either before as in Fig. 2b, or after. Alternately, if electrically controllable de-speckling modulator 160 provides phase changes comparable to the coherence length ($\Delta\phi \sim C_0$), the modulator can be used to vary the temporal and spatial coherence across regions within each of the M beamlets, where these regions are relatively large compared to the wavelength of light (to neither scatter nor diffuse).

Thus far, this invention for a laser display system utilizing both an electrically controllable de-speckling modulator and a spatial light modulator for imparting image data, has been described with respect to the use of one dimensional light modulations. There are a wide variety of two dimensional (area) spatial light modulators which can be used in electronic projection systems, with liquid crystal valves (LCDs) and micro-mechanical mirror arrays (including the digital mirror devices (DMDs) from Texas Instruments) being the most prominent. Relative to the laser display system of Fig. 1, the primary impact of switching from a one dimensional spatial light modulator to a two dimensional type is that both the illumination optics and the electrically controllable de-speckling modulator 160 must be modified to work two dimensionally. In that case, the fly's eye integrator 175 typically use fly's eye lenslet arrays 178 (a,b)

laid out in a two dimensional pattern, where the lenslets have spherical surfaces. Likewise, diffuser 150 provides controlled two dimensional (or spherical) diffusion, rather than the one-dimensional diffusion preferred in the Fig. 1 linear system. Such diffusers are available as holographic diffusers from Physical Optics Corp. or a randomized microlens array from Corning - Rochester Photonics Corp.

The various examples of spatial light electrically controllable de-speckling modulator 160 detailed in Figs. 3, 4, 6a and 6b are one dimensional or linear devices. It is possible to construct a two dimensional electrically controllable de-speckling modulator by stacking a series of these devices, or by placing a series of these devices in offset locations within the optical system. It should also be understood that other types of electrically controllable de-speckling modulators can be designed, which use other electro-optical materials more conducive to use as a two dimensional structure, which could then be placed in a laser display system with a two dimensional image modulating spatial light modulator array.

For example, Fig. 9 shows a cross sectional view of a laser projection display 100 using an area type modulator array, such as an LCD. As before, laser 110 emits a laser beam 115 which is pre-conditioned by beam expansion optics 120, diffuser 150, and beam shaping optics 170 to illuminate a spatial light modulator (liquid crystal display 255). And as previously, diffuser 150, fly's eye integrator 175, and electrically controllable de-speckling modulator 160 all contribute to reduce the presence of speckle across two dimensions at the spatial light modulator and at the screen 215. Unlike the system of Fig. 1, in the system of Fig. 9, a two dimensional on screen image is not formed by scanning, but by using projection lens 205 to directly image the spatial light modulator (liquid crystal display 255) to the screen 215. The illumination light passes through a pre-polarizer 260, and a polarization beam splitter 265. Liquid crystal display 255 modulates the illuminating light, rotating the polarization state of this light on a pixel by pixel basis, according to the applied command signals. Modulated image bearing light beam 275, which is directed to the screen 215 by

-30-

projection lens 205, is turned by polarization rotated light which reflects off of polarization beam splitter 263. Nominally polarization analyzer 270 is used in a crossed orientation, to define the dark state. As the typical laser source emits polarized light, it may not be necessary to utilize pre-polarizer 260 in the laser display 100 of Fig. 9. In this case, it would be necessary that laser beam 115, as emitted by laser 110, be sufficiently polarized (100%), and that neither diffuser 150 or electrically controllable de-speckling modulator 160 significantly degrade this innate polarization contrast.

Similarly, Fig. 10 shows a cross-sectional view of a laser projection display using a micro-mechanical mirror array 280, such as the DLP chip available from Texas Instruments. Unlike systems using a liquid-crystal spatial light modulator, which rely on controlled polarization effects to modulate the light, the micro-mechanical mirror array 280 utilizes angular control of the beamlets of light on a pixel-by-pixel basis. This system is substantially the same as the system shown in Fig. 1, except the illumination converges to an aperture 290 beyond the micro-mechanical mirror light array 280. Individual pixels are formed by micromirrors that either direct light through the aperture 290 of the projection lens 205, or forward a stop 285 (i.e. a Schlieren optical system). Pixel brightness is controlled by selecting the proportion of time within a frame that light is directed through the lens aperture 290. This type of system can be constructed either with a two dimensional spatial light modulator array, a 2D fly's eye system, and a 2D electrically controllable de-speckling modulator 160 as in Fig. 10, or alternately with a 1D spatial light modulator array, a 1D fly's eye system, a 1D electrically controllable de-speckling modulator 160, and a scanner, such as the galvanometer used in Fig. 1.

For simplicity, the invention has been demonstrated with a single laser beam and single spatial light modulator, although the broader discussion has been directed towards a full color RGB projection display. It should be understood that a system can be constructed with separate red, green, and blue light beams which follow separate optical paths to illuminate the respective red, green, and blue spatial light modulators. The modulated light beams would be

color combined, typically by an x-prism located before the projection lens, and the resulting light beam would be imaged to the screen to provide a polychromatic image. The separate red, green, and blue beams can originate from three separate lasers, from one OPO type laser package using a combination of non-linear optics to output three beams, or from an OPO type laser package integrated to provide a single white light laser output, which is subsequently color split.

5

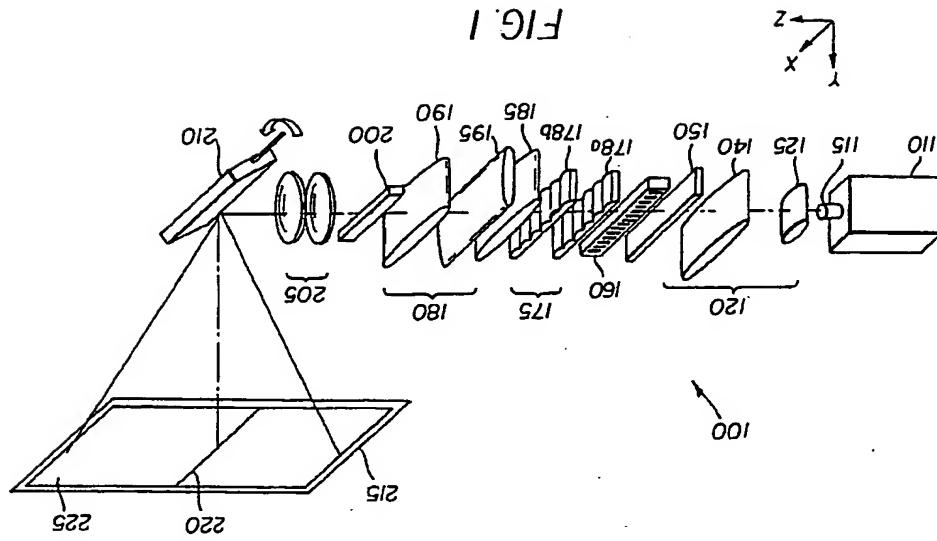
5

5

5

PARTS LIST

100	laser display system
110	laser
115	laser beam
120	beam expansion optics
125	diverging lens
130	diverging beam
140	collimating lens
145	collimated beam
150	diffuser
160	electrically controllable de-speckling modulator
175	fly's eye integrator
178a	first lenslet array
178b	second lenslet array
180	beam shaping optics
185	condenser lens
190	field lens
195	cross array condenser
200	linear spatial light modulator
205	projection lens
210	galvonometer mirror
215	screen
220	line image
225	area image
240	beamsplitter array
241(a-e)	mirrors
245	beamlets
250	composite laser beam
255	liquid crystal display
260	pre-polarizer
265	polarization beam splitter
270	polarization analyzer
275	modulated image bearing light beam
280	micro-mechanical mirror array
285	stop
290	aperture
320	light
325	wave front
330	distorted wave front
340	input facet
345	output facet
350	modulator site
355	modulator site
360	modulator site
370	bulk material or substrate
380	delay region
385	top electrode
390	electrode
392	electrode
395	electrode
397	electrode
399	electrode
400	bottom electrode
405	buffer layer
410	overcoat
420	electrode
425	electrode
430	electrode
435	electrode

**WHAT IS CLAIMED IS:**

1. A display apparatus, comprising:
 - a) a laser light source for emitting a light beam having a coherence length;
 - b) a beam expander for expanding the light beam;
 - c) a spatial light modulator;
 - d) beam shaping optics for shaping the expanded laser beam to provide uniform illumination of the spatial light modulator, the beam shaping optics including a fly's eye integrator having an array of lenslets;
 - e) a diffuser located in the light beam between the laser light source and the beam shaping optics;
 - f) an electrically controllable de-speckling modulator for modifying the temporal and spatial phase of the light beam; and
 - g) a projection lens for producing an image of the spatial light modulator on a distant screen.

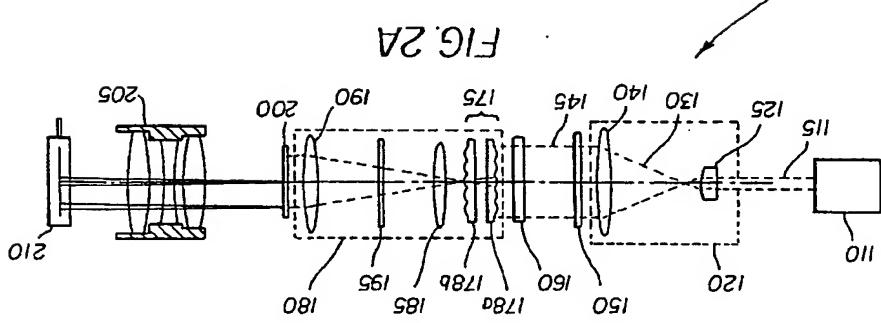
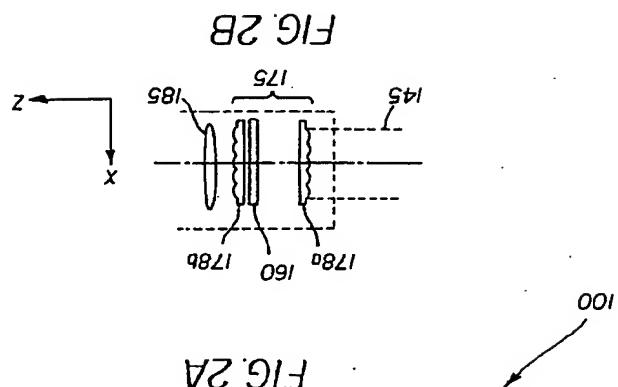
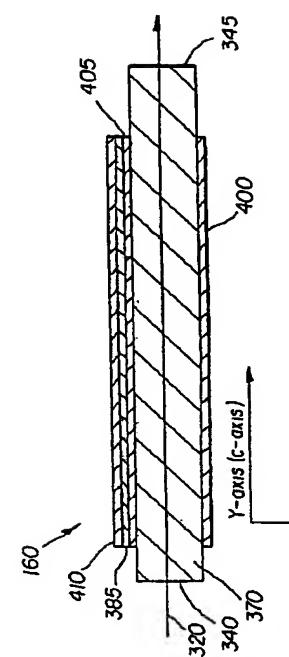
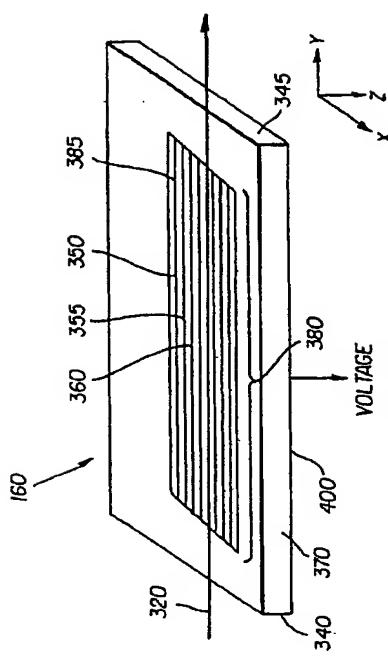


FIG. 6B

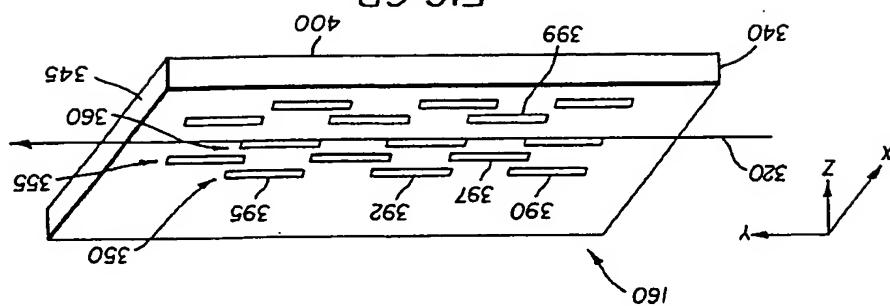


FIG. 6A

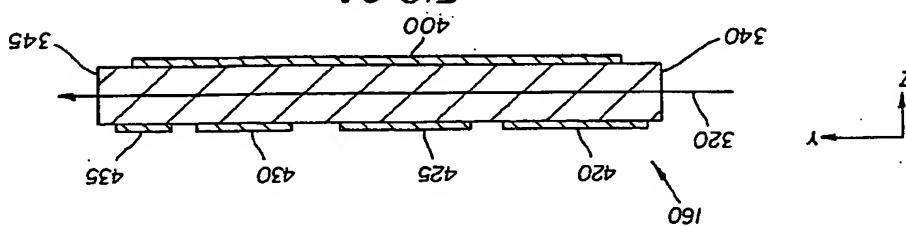


FIG. 5D

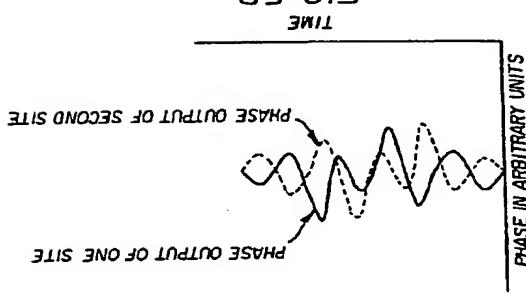


FIG. 5C

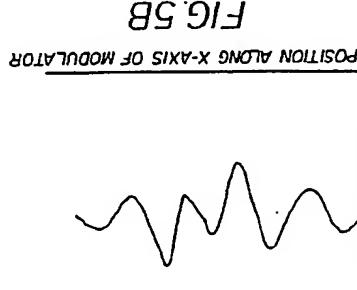
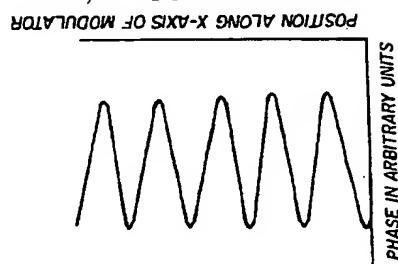


FIG. 5A

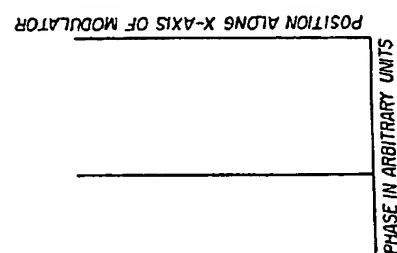


FIG. 8

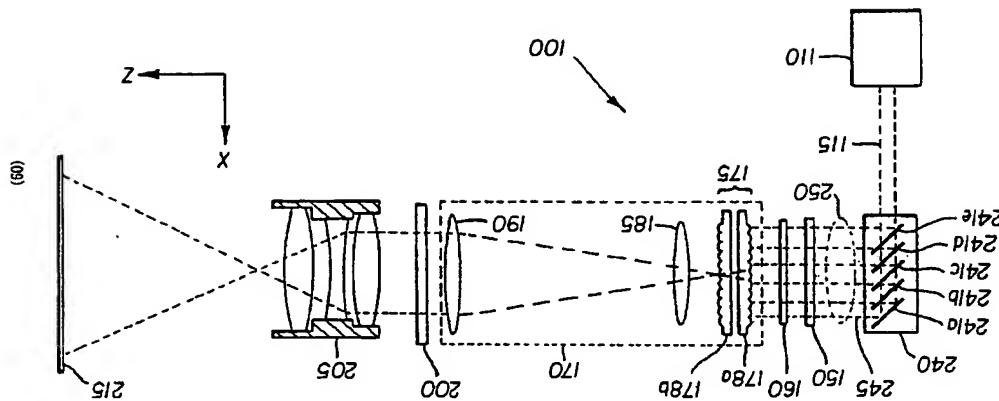


FIG. 7d

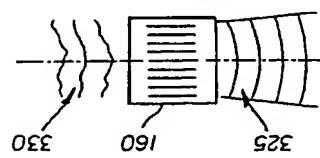


FIG. 7c

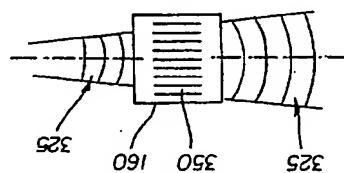


FIG. 7b

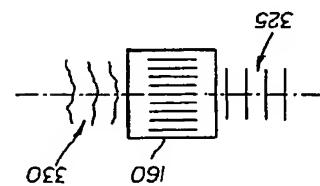


FIG. 7a

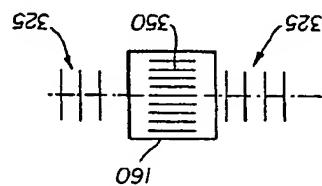


FIG. 10

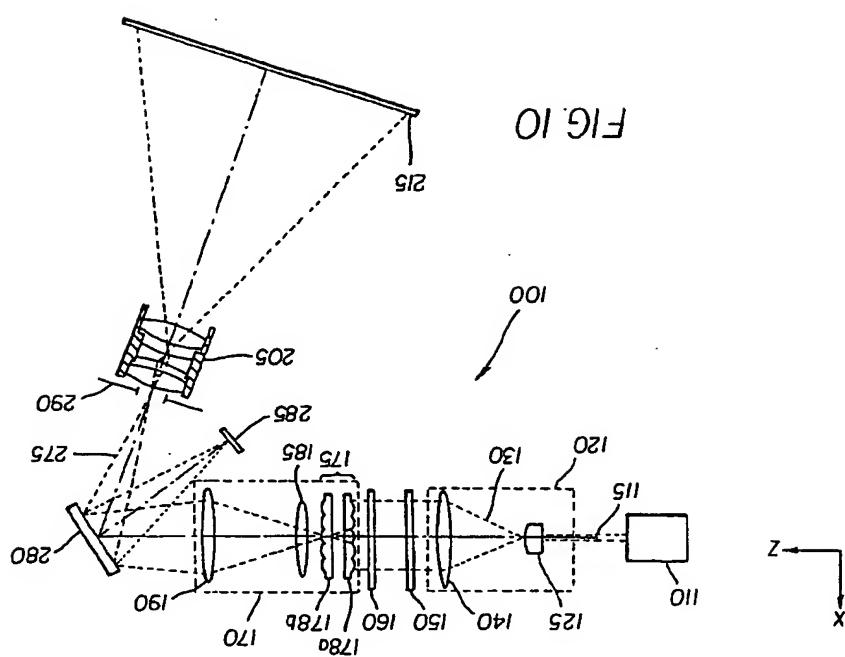
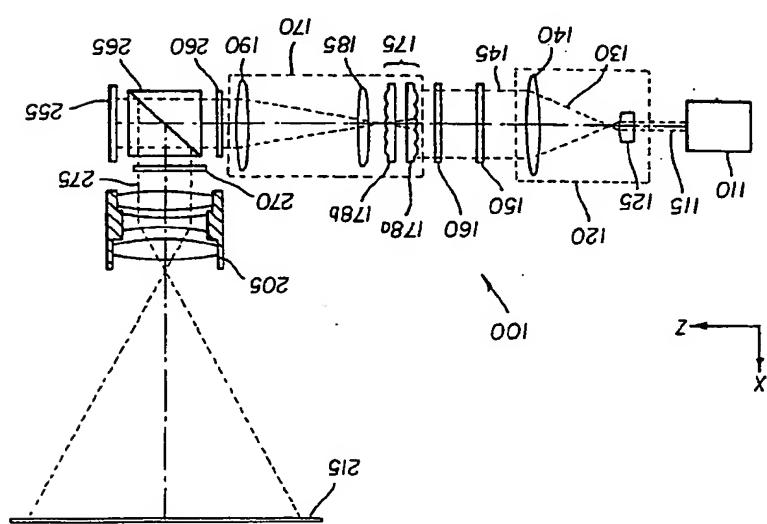


FIG. 9



ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

A display apparatus includes a laser light source for emitting a light beam having a coherence length; a beam expander for expanding the light beam; a spatial light modulator; beam shaping optics for shaping the expanded laser beam to provide uniform illumination of the spatial light modulator, the beam shaping optics including a fly's eye integrator having an array of lenslets; a diffuser located in the light beam between the laser light source and the beam shaping optics; an electrically controllable de-speckling modulator for modifying the temporal and spatial phase of the light beam; and a projection lens for producing an image of the spatial light modulator on a distant screen.